



**Sistema de simulación y modelación de tratamiento de aguas
residuales en Silvania Cundinamarca**

Esteban José Díaz Torres

11231912003

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Ambiental
Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil
Bogotá, Colombia
2023

**Sistema de simulación y modelación de tratamiento de aguas
residuales en Silvania Cundinamarca**

Esteban José Díaz Torres

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título
de:

Ingeniero Ambiental.

Director (a): PhD Didier Camilo Sierra Flórez

Línea de Investigación:

Recurso Hídrico

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Ambiental

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

Sistema de simulación y modelación de tratamiento de aguas residuales en Silvania

Cundinamarca,

Cumple con los requisitos para optar

Al título de Ingeniero Ambiental.

Firma del Tutor

Firma del Primer Jurado

Firma del Segundo Jurado

Dedicatoria.

A mi querida madre, un faro de apoyo constante en cada etapa de mi vida. Su inquebrantable motivación y fuerza han sido la brújula que ha guiado mis pasos de manera inquebrantable.

A mi abuela, un pilar sólido que ha sostenido mi camino en cada paso de mi carrera. Su apoyo ha sido como un faro que me ha iluminado en los momentos más oscuros.

A mi hermana, más que mi mejor amiga, es un motor de motivación que me impulsa a alcanzar todos mis objetivos. Su apoyo incondicional es un tesoro invaluable que atesoro en el rincón más profundo de mi corazón.

A mi bisabuelo Rafael, desde el cielo, continúa velando por mí, cuidándome y protegiéndome. Su vida es mi fuente de inspiración, y su ejemplo sigue iluminando el sendero que elijo seguir.

Agradecimientos

A mi Asesor, el Doctor Didier Camilo Sierra, deseo expresar mi más sincero agradecimiento por su inestimable apoyo durante la creación de mi tesis y a lo largo de mi carrera universitaria. Su orientación me ha ayudado a fortalecer mis habilidades y me ha demostrado la importancia del trabajo duro y constante en la consecución de mis metas académicas.

A mi madre y hermana, quienes son los pilares de mi vida, les debo un profundo agradecimiento por haberme acompañado en la realización de cada uno de mis sueños. Su amor y apoyo incondicional son el motor que me impulsa a seguir adelante.

A mis queridos abuelos, María Dolores y Ricardo Torres, quiero expresar mi gratitud por su paciencia, escucha y apoyo constante a lo largo de mi vida. Sus consejos y cariño han sido fundamentales en mi crecimiento.

A mi familia, mi razón de ser, les agradezco por ser mi constante fuente de motivación. Cada día, mi deseo de superación se alimenta de su amor y apoyo.

A la Escuela Territorial Del Agua, bajo la dirección del Ingeniero Didier Sierra y la Ingeniera Vanessa Rodríguez, les agradezco por brindarme la oportunidad de explorar y comprender de manera más profunda la importancia de ser un Ingeniero Ambiental y su relevancia para la comunidad. Su compromiso ha enriquecido mi formación y visión en este campo.

Sistema de simulación y modelación de tratamiento de aguas residuales en Silvania Cundinamarca

Wastewater Treatment simulation and modeling system in Silvania Cundinamarca

Diaz Torres, Esteban Jose¹ Sierra Florez Didier Camilo²

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, ediaz46@uan.edu.co,

² Universidad Antonio Nariño, Colombia, Docente, dsierra23@uan.edu.co

Resumen: El agua es un elemento fundamental para el progreso de un ecosistema, y se emplea por el ser humano para su sustento en todos los sectores de producción. La carencia de recursos hídricos es un desafío que el mundo está experimentando en la actualidad. Por consiguiente, se requiere la implementación de tratamientos para las aguas residuales que sean económicos y eficaces para que el agua pueda ser reutilizada y, de esta manera, contribuya con la preservación del medio ambiente. La presente investigación presenta un sistema de modelación que alberga nuevas técnicas de tratamiento de agua residual, tales como la posibilidad de aprovechar el recurso hídrico, considerando los procedimientos físicos y químicos para la eliminación de diversos contaminantes. Se presenta una modelación en el software *GPS-X Hydromantis* en la que se simula una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de Silvania.

Palabras claves: Modelación, Gps-X, Recurso Hídrico, Sistema, tratamiento, Efluente, Residual.

Abstract: Water is a fundamental element for the progress of an ecosystem, and is used by humans for their livelihood in all sectors of production. The lack of water resources is a

challenge that the world is currently experiencing. Therefore, the implementation of wastewater treatments that are economical and effective so that water can be reused and, in this way, contribute to the preservation of the environment. This research seeks to present a modeling system that houses new techniques of wastewater treatment, such as the possibility of using the water resource, considering the physical and chemical procedures for the elimination of various pollutants. A model is presented in the GPS-X Hydromantis software in which a wastewater treatment plant is simulated for the municipality of Silvania.

Key words: Modeling, Gps-X, Water Resource, System, Treatment, Effluent, Waste.

Contenido

1. Introducción	8
2. Planteamiento del Problema	9
3. Estado del Arte	11
4. Marco Conceptual	14
a. Normativa Colombiana Vigente	14
Resolución 631 de 2015 (marzo 17)	15
Decreto 1595 de 2015 (agosto 5)	15
Resolución 1256 de 2021 (noviembre 23)	15
b. Aguas residuales	16
c. Tipos de Aguas Residuales	16
d. Características del agua Residual	17
e. Tratamiento de aguas residuales	19
f. Programa Gps-X	20
5. Objetivos	22
5.1. General	22
5.2. Específicos	22
6. Metodología	23
7. Resultados	26
8. Discusiones	46
9. Conclusiones	48
a. Recomendaciones	49
10. Bibliografía	50
11. Anexo 1	52

<i>12. Anexo 2.</i>	53
<i>13. Anexo 3.</i>	56
<i>14. Anexo 4.</i>	57
<i>15. Anexo 5.</i>	59

Tabla de Tablas

Tabla 1 Normativa Colombiana Vigente	15
Tabla 2 Característica del Agua Residual	17
Tabla 3 características del Programa GPS-X	21
Tabla 4 Resultados toma de muestras compuestas.....	28
Tabla 5 Valores Obtenidos a lo largo del primer escenario	40
Tabla 6 Valores Obtenidos a lo largo del Segundo Escenario	42
Tabla 7 Valores Obtenidos a lo largo del Tercer Escenario.....	43

Tabla de Diagramas

Diagrama 1 Tipos de Aguas Residuales.....	16
Diagrama 2 Tipos de Tratamientos	19
Diagrama 3 Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales.....	20
Diagrama 4 Primera Fase Metodológica.....	23
Diagrama 5 Segunda Fase Metodológica.....	24
Diagrama 6 Tercera Fase Metodológica	25
Diagrama 7 Tren de Tratamiento Primer Escenario.....	39
Diagrama 8 Tren de Tratamiento Segundo Escenario	41
Diagrama 9 Tren de Tratamiento Tercer Escenario	44
Diagrama 10 Resultados de remoción Primer Escenario	53
Diagrama 11 Resultados Remoción Segundo Escenario	54
Diagrama 12 Resultados Remoción Tercer Escenario	54
Diagrama 13 Comparación de escenarios propuestos.....	55

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Primer Acercamiento con la comunidad	26
Ilustración 2 Proceso de delimitación del área del Sistema de Tratamiento	27
Ilustración 3 Toma de muestras con la comunidad	29
Ilustración 4 Nuevo Archivo para generación de planta	30
Ilustración 5 Actualización Pantalla Completa	30
Ilustración 6 Ventana de procesos para construcción de modelos	31
Ilustración 7 Proceso de Ingreso de Influyente	32
Ilustración 8 Inserción de tanque de flujo pistón	32
Ilustración 9 Inserción de clarificador circular	33
Ilustración 10 Proceso de tren de tratamiento completo	34
Ilustración 11 Unión de Efluente	34
Ilustración 12 Recirculación de lodos	35
Ilustración 13 Proceso de conexión terminado del tren de tratamiento	35
Ilustración 14 Proceso de ingreso de datos específicos.....	36
Ilustración 15 Pantalla emergente parámetros de efluente.....	37
Ilustración 16 Menú específico para programación de variables mecánicas	38
Ilustración 17 Primer Escenario Generado.....	39
Ilustración 18 Segundo Escenario Propuesto.....	41
Ilustración 19 Tercer Escenario Propuesto.....	43
Ilustración 20 Exposición de la Planta a la comunidad.....	45
Ilustración 21 Diagrama Sankey Primer Escenario.....	52
Ilustración 22 Diagrama Sankey Segundo Escenario	52
Ilustración 23 Diagrama Sankey Tercer Escenario	53
Ilustración 24 Aclaración de dudas comunidad Silvania	56
Ilustración 25 Presentación de los escenarios generados	56
Ilustración 26 Participación Ponente Congreso De Semilleros de Investigación	57
Ilustración 27 Agradecimientos de la comunidad	58
Ilustración 28 Mapa de Selección del municipio	59

1. Introducción

La comunidad de Silvania tiene una problemática en relación con los recursos hídricos. Específicamente, se ha identificado que surgen dificultades tanto en la captación inicial del agua como en el proceso de vertido. En colaboración con la Escuela Territorial del Agua, se ha desarrollado un proceso de selección meticuloso para determinar la metodología más adecuada a emplear.

El enfoque principal consiste en abordar la resolución de problemas relacionados con la reutilización y el aprovechamiento del recurso hídrico posterior a su uso, excluyendo su consumo humano, pero a excluyendo su aplicación en la agricultura y otros ámbitos. Se ha llevado a cabo un análisis minucioso para identificar el mecanismo óptimo de solución para esta problemática.

Durante este análisis, se pretende modelar y simular un sistema de tratamiento de agua residual más adecuado. Este programa permite generar varios escenarios que facilitan la creación y optimización de una planta de tratamiento de aguas residuales. La ubicación seleccionada para esta planta es la finca Valsálize en Silvania, Cundinamarca. Esta elección se basa en el hecho de que es el punto de vertido del río Yayatá, el cuerpo hídrico que abastece y del que depende la comunidad de Silvania.

Tras finalizar el proceso de montaje, se ponen a disposición de la comunidad los escenarios simulados, lo que les permite tomar decisiones bien fundamentadas y apropiadas a fin de mejorar su municipio.

2. *Planteamiento del Problema.*

La problemática principal se basa en una falta de modelos estratégicos y sistemáticos para el tratamiento de aguas residuales en el municipio de Silvania, Cundinamarca. Para abordar esta cuestión, se plantea la modelación y simulación con el propósito de desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales. El programa GPX-S fue utilizado en este proceso.

Los resultados obtenidos a través de la modelación y simulación permitieron la medición en tiempo real de todo el proceso de tratamiento. Esto tiene como objetivo principal comparar los diferentes sistemas de tratamiento de agua existentes en el municipio de Silvania, Cundinamarca. Es importante destacar que los sistemas de tratamiento actuales se centran en la generación de agua potable y no incluyen un enfoque para el tratamiento de aguas residuales posconsumo.

Ante esta problemática, el programa empleó una serie de valores con el fin de observar y analizar su comportamiento. El proceso de modelación contribuyó al fortalecimiento del municipio, al lograr proporcionar un avance en la creación de un mecanismo de tratamiento y al ofrecer conocimientos técnicos sobre los indicadores de calidad del agua en su posesión.

Los indicadores analizados mostraron una baja calidad del agua, conforme a la Resolución 1256. Al compartir estos descubrimientos con la comunidad, se aprecia una notable falta de conocimiento sobre el tratamiento de aguas residuales. Se observa que las mismas problemáticas tienen un impacto tanto en el origen como en la fuente del agua: la presencia de ganadería en las proximidades del recurso hídrico, la agricultura que tiene un impacto negativo en el cuerpo de agua y la existencia de captaciones ilegales. Este conjunto de situaciones tiene un

impacto significativo en la comunidad, quienes dependen del agua para el consumo. Asimismo, se evidencian riesgos para la salud de aquellos que consumen este recurso sin haber sido tratado, de acuerdo con las regulaciones colombianas.

Los mecanismos se ejecutaron con el objetivo de que la comunidad pueda adquirir un conocimiento técnico más sólido sobre los niveles de calidad del agua y cómo lograr reducir los valores y aumentar la calidad. Se pretende que el sistema de tratamiento sea sostenible y de bajo costo para que la comunidad pueda mantenerse a lo largo del tiempo.

Al concluir el proceso, se logró identificar la pregunta central que se busca resolver: "¿Cuál de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es más eficaz en la eliminación de contaminantes y contribuye al beneficio de la comunidad de Silvania, Cundinamarca?"

3. *Estado del Arte*

El objetivo de este proyecto de investigación es ofrecer una solución sostenible, fiable y práctica para abordar los desafíos ambientales en la comunidad de Silvania. Se centra en la identificación y mitigación de diversos contaminantes presentes en la fuente hídrica, con el objetivo de mejorar la calidad del agua de consumo para el beneficio de la comunidad.

Generando un proceso de modelación y simulación de una planta de tratamiento utilizando el software Gps-x, De acuerdo con Juliana Chacón y Laura Ramírez quienes desarrollaron un proyecto titulado “Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para empresa de lácteos, a partir de la simulación del software Gps-x.”, mediante simulaciones se establecen las unidades óptimas que pueden auxiliar en la eliminación de los elementos de DBO5, DQO, SST, teniendo en cuenta que los procesos no ocupen mucho espacio y sean capaces de cumplir con las condiciones de vertimiento.(CHACÓN PÁEZ JULIANA ANDREA & RAMÍREZ SÁNCHEZ LAURA ISABELA, 2020), el proceso que generaron tiene un enfoque en procesos industriales donde se evidencia que en el ámbito de la industria láctea, la cantidad de agua utilizada varía en función de la tecnología empleada, oscilando entre 5 y 10 litros de agua por cada litro de leche.(CHACÓN PÁEZ JULIANA ANDREA & RAMÍREZ SÁNCHEZ LAURA ISABELA, 2020), además de generar distintos procesos para la mejora continua teniendo en cuenta que su propuesta presentada proporciona a las industrias lácteas la aplicación de actividades a utilizar en descargas de aparatos sanitarios, limpieza mecánica de equipos para la producción de los productos lácteos, sistemas de redes contraincendios y sistema de riego para pasto. Esta acción se lleva a cabo conforme a los indicadores de la Resolución 1207

de 2014.(CHACÓN PÁEZ JULIANA ANDREA & RAMÍREZ SÁNCHEZ LAURA ISABELA, 2020).

De acuerdo a Mauricio Bolívar y Joe Bolívar cuya investigación se titula “Modelado y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales empleando modelos asm” definen que utilizar el programa GPS-X, el cual es un programa especializado en la modelación y simulación de una planta piloto con transformación de unidades y análisis numérico, lo cual es una herramienta útil, ya que contiene un programa alterno denominado Influent Advisor, que posibilita la construcción y la estimación de variables.(BOLÍVAR MAURICIO & JOE BOLÍVAR, 2020).

Las dos pruebas realizadas se evidencian un uso adecuado del programa en términos generales. No obstante, se observa una dificultad en el proceso de ingreso de valores y en el análisis de resultados en el proceso de modelación. La presente investigación se examina desde diversas perspectivas, con enfoques fundamentados en las normativas actuales. Estas diferencias permiten destacar las variaciones en los parámetros específicos de dos regiones diferentes: Bogotá y Quito, Ecuador. Ambos autores exhiben una perspectiva más detallada en la toma de muestras y en el análisis técnico, considerando posibles errores estadísticos que podrían influir en la variabilidad de los resultados obtenidos.

El artículo titulado “EVALUACIÓN DE UN PROCESO ANÓXICO-AEROBIO-REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA CON ALTO CONTENIDO DE NITRÓGENO”, donde utilizan el programa Gps-x donde, “La industria de elaboración de harinas de pescado genera aguas residuales con alto contenido de carga orgánica y nitrógeno que se deben tratar

antes de descargarse a un cuerpo receptor”(Espinosa et al., 2020). Al modelar en el sistema Gps-x generan 4 etapas específicas lo que permitieron modelar simular y analizar los escenarios planteados, y al final del proceso los autores decidieron una “ampliación con clarificador secundario resultó la mejor alternativa para la remoción de nitrógeno, carga orgánica y sólidos.” (Espinosa et al., 2020)

En el artículo titulado “Potential use of wastewater for irrigation and aquifer recharge water: La Villa River basin, Republic of Panamá”, permite evidenciar que “la metodología que se aplicó tuvo sus fundamentos en un análisis multidisciplinario a través de un diagnóstico biofísico y socioeconómico. Se evaluó la posibilidad de implementación de soluciones tecnológicas como la reutilización directa con fines de riego de aguas depuradas en humedales y recarga superficial de acuíferos de manera indirecta por infiltración de excedentes de riego.”(Opolenco, 2022), donde se evidencia una correcta ejecución del proceso propuesto con el fin de aprovechar el agua residual y así lograr recircular para su aprovechamiento.

4. Marco Conceptual.

La contaminación del aire y agua es una problemática aún conocida en la actualidad. No obstante, el interés por ellas es esencial. Es posible afirmar que, antes de la década de 1960, el ciudadano común no tenía ninguna relación con la conservación de los recursos.(UNESCO, 2017). Posteriormente, el ser humano ha sido responsable de propagar la tesis equivocada de que el progreso económico está vinculado al deterioro del medioambiente, ya que para alcanzar un progreso material se han utilizado procedimientos de gran impacto ambiental.

La contaminación se considera un asunto relacionado con la escasez de recursos no tan relevante, en comparación con otros factores de mayor relevancia. (RAMALHO RUBENS SETTE, 1990). La producción de aguas residuales se incrementa en función de la demanda global de agua. Sin embargo, se ha subestimado la importancia de las aguas residuales, siendo consideradas como una carga que debe ser eliminada e ignorada. Los efectos de estas acciones tienen un impacto directo en aspectos relevantes, tales como la salud, la economía, la capacidad de recursos, los ecosistemas, entre otros, lo que obstaculiza el progreso de las poblaciones. (UNESCO, 2017).

a. Normativa Colombiana Vigente

Se tiene en cuenta la normativa vigente para lograr obtener unos datos bases para los distintos parámetros que se deben analizar a lo largo de la evaluación del agua contaminada, dicha normativa está expresada en la Tabla 1.

Tabla 1 Normativa Colombiana Vigente

Normativa	Título	Especificaciones
Resolución 631 de 2015 (marzo 17)	Reglamento que establece los valores máximos permitidos para los vertidos directos a ríos, lagos u otros cuerpos de agua, así como al sistema de alcantarillado público, junto con instrucciones adicionales.	^a Se elimina la identificación de usuarios nuevos y antiguos, así como los niveles de pH para aguas y los 56 parámetros entre fisicoquímicos y microorganismos para su análisis, así como el proceso de concentración final de grasas y otros factores.
Decreto 1595 de 2015 (agosto 5)	Se dictan normas relativas al Subsistema Nacional de la Calidad y se modifican los capítulos 7 y la sección 1 del capítulo 8 del título 1 de la parte 2 del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Comercio, Industria y Turismo, Decreto 1074 de 2015, así como otras disposiciones.	^b Se establece una reorganización del Subsistema Nacional de Calidad, basado en normativa colombiana sectorial, nacional e internacional, además de que define a las empresas un correcto tratamiento para un mejor aprovechamiento de los recursos.
Resolución 1256 de 2021 (noviembre 23)	Por lo tanto, se establece el uso de las aguas residuales y se adoptan otras disposiciones	^c Resolución donde se define de manera específica las aguas residuales, como realizar el proceso de recirculación y reutilización, además define valores específicos para el agua residual agrícola, valores dados por el Ministerio de Ambiente

Nota: a (MINAMBIENTE, 2014), b (CECILIA ÁLVAREZ & CORREA GLEN, 2015), c (CORREA CARLOS, 2021).

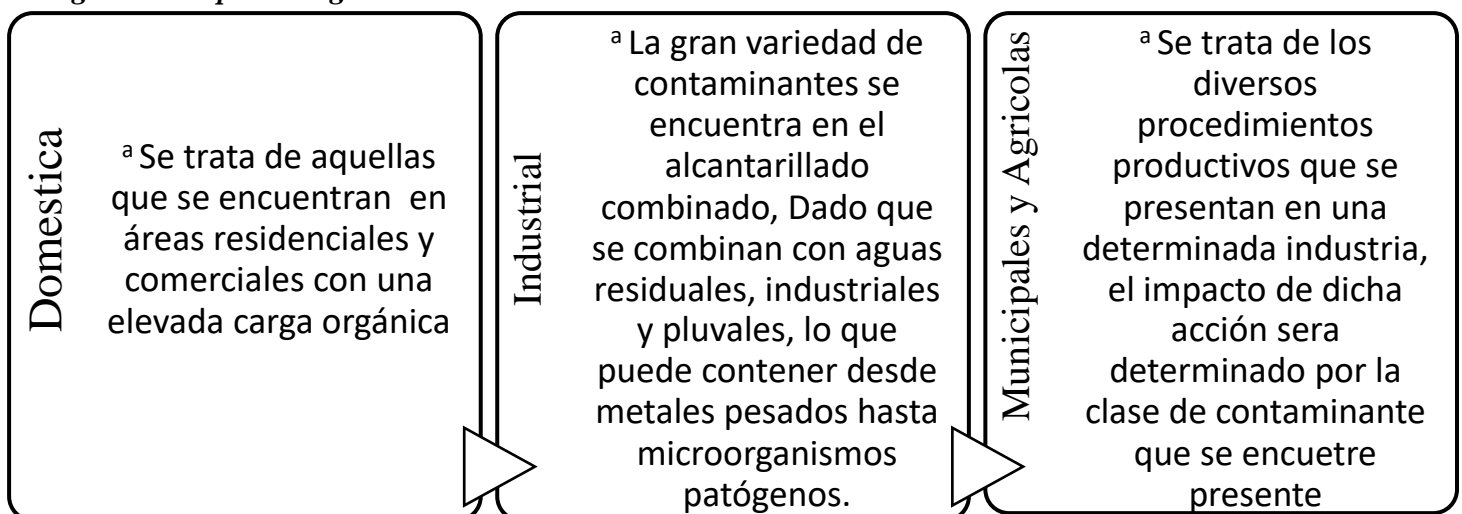
b. Aguas residuales

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuyo estado de calidad se ve afectado de manera negativa por la influencia antropogénica. Se trata de agua que no tiene un valor inmediato para el objetivo de la utilización, ni para el objetivo de la que se utilizó, ni para el objetivo de la que se utilizó, ni para el objetivo de la que se realizó, debido a su calidad, cantidad o al momento en el que se encuentra disponible (Zarza, 2019), según la UNESCO (2017), el 80 % de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua.

c. Tipos de Aguas Residuales

De conformidad con el Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (UNESCO, 2017), las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su fuente generadora explicada en el Diagrama 1

Diagrama 1 Tipos de Aguas Residuales



Nota: ^a (UNESCO, 2017)

d. Características del agua Residual

Las variaciones que pueden surgir en un caudal de aguas residuales vertidas pueden ser predecidas en gran medida, si se consideran factores específicos que permitan definir una secuencia adecuada del tipo de agua residual que se desea tratar. (Melcaff & Eddy, 2001)

Debemos tener en cuenta los siguientes elementos expresados en la **Tabla 2**.

Tabla 2 Característica del Agua Residual

<i>Características</i>	<i>Significado</i>
Acidez	^a Se produce la degradación de la materia orgánica, lo cual altera el potencial de hidrógeno (pH) al excretar compuestos ácidos, o se produce como consecuencia de la descarga de aguas residuales industriales que contengan compuestos que alteren dichas características
Alcalinidad	^a Es posible generar compuestos hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos, que contienen elementos como calcio, magnesio, sodio, potasio o amonio.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	^a En términos generales, este parámetro se emplea para determinar la concentración de materia orgánica en aguas residuales, municipales e industriales con un grado de toxicidad para el medio biológico. La DQO es una técnica que posibilita la identificación de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica mediante procedimientos químicos.
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	^a Se expresa mediante la medida de mg O ₂ /L, lo cual indica la cantidad de oxígeno necesaria por los microorganismos para oxidar la materia orgánica del agua en un entorno aerobio. Esta variable permite establecer la cantidad de oxígeno necesaria para estabilizar la materia orgánica,

en términos biológicos, con el objetivo de posteriormente diseñar la unidad de tratamiento y evaluar la eficacia de la misma.

- Materia** ^b En un agua residual promedio, alrededor del 75 % de los sólidos suspendidos y un 10 % de los
- Orgánica** filtrables son de naturaleza orgánica. Las proteínas son más comunes que los hidratos de carbono, los hidratos de carbono y las grasas y aceites son más importantes.
- Nitrógeno** ^b El nitrógeno, que se utiliza en el proceso de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados, es un nutriente esencial para el desarrollo de las bacterias. Su principal fuente de actividad es el nitrógeno orgánico, la amoniacal, los nitritos y el nitrato.
- Oxígeno** ^a Se ha demostrado que la presencia de oxígeno disuelto es un factor determinante en la
- Disuelto** actividad acuática aerobia. El exceso de agua impide que un cuerpo de agua se auto purifique. No obstante, según la opinión de los expertos, se encuentra en una posición de 7 mg/L a 35 C y 14,6 mg/L a 0 C.
- pH** ^a La determinación del pH índico es esencial en el proceso de tratamiento de aguas residuales por lodos activados, ya que se requiere mantener un rango entre 6,5 y 8,5 para que las bacterias puedan consumir la materia orgánica. Si el pH se encuentra en una posición inferior a su nivel, las circunstancias propician el desarrollo de microorganismos no deseados. En particular, los hongos que se desarrollan con pH inferior a 6 impiden el desarrollo de microorganismos no deseados.

Nota: ^a (Romero Rojas, Jairo Alberto, 1999), ^b (RAMALHO RUBENS SETTE, 1990).

e. Tratamiento de aguas residuales

Se trata del programa STAR, denominado "Sistema de Tratamiento de aguas residuales", que se dedica a recoger y eliminar las sustancias contaminantes de aguas de una población o sector industrial, para, posteriormente, ser devueltas al ciclo del agua, bien mediante el desagüe al mar o mediante su reutilización directa. (Lander Rodríguez, 2020)

Existen distintos tipos de tratamientos dentro del proceso de purificación del agua residual, los cuales están expresados en el **Diagrama 2**.

Diagrama 2 Tipos de Tratamientos

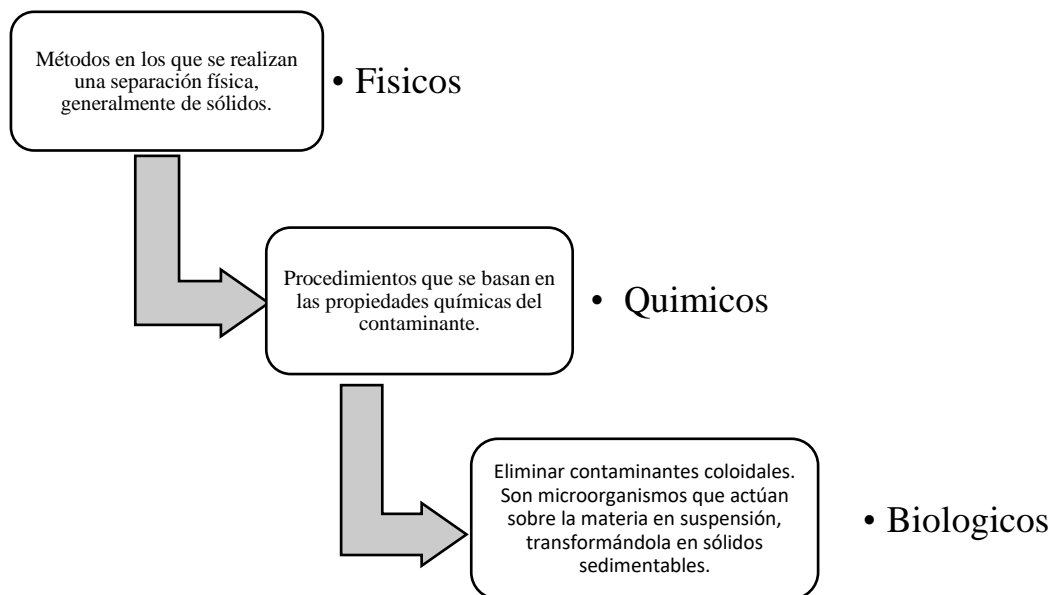


Diagrama realizado por fuente propia, información tomada de (Lander Rodríguez, 2020)

Luego de definir los tipos tratamientos que se realizan alrededor de una planta, ahora se debe analizar las etapas de tratamiento que se realiza en una planta de tratamiento, como se evidencia en el **Diagrama 3**

Diagrama 3 Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales

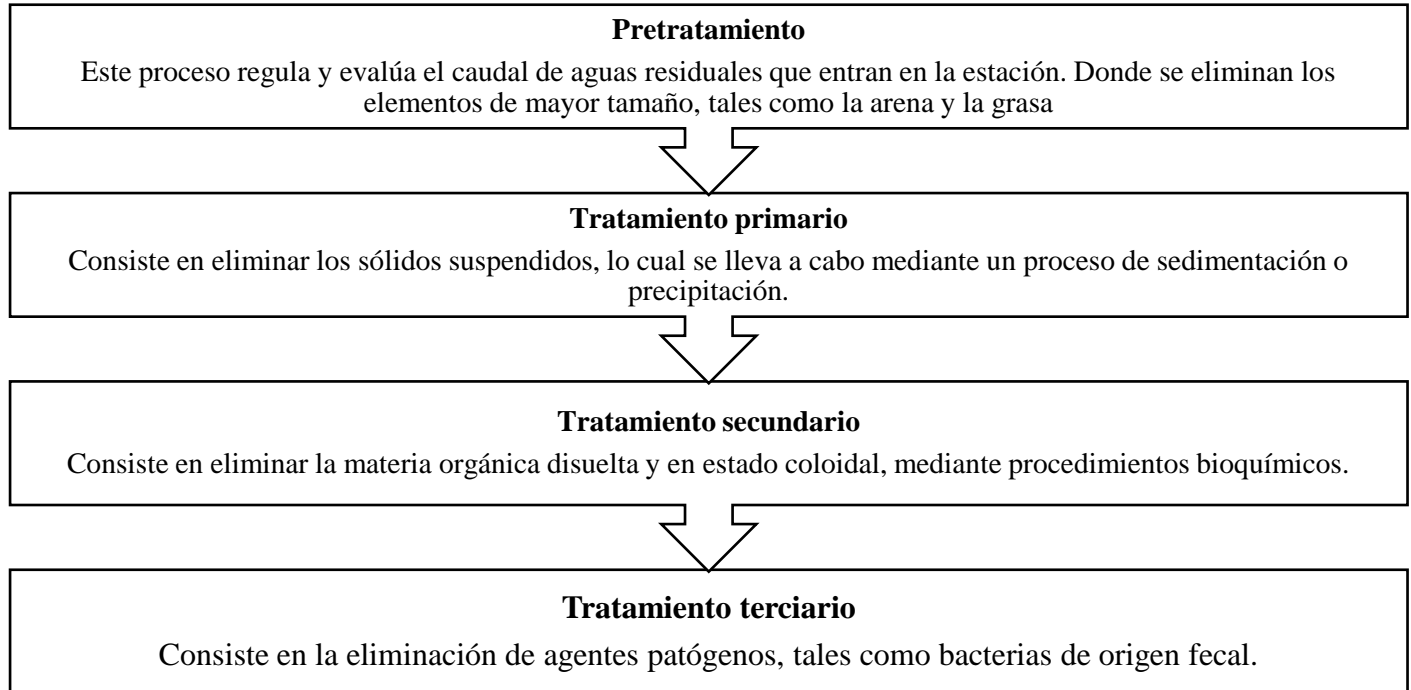


Diagrama realizado por fuente propia, información tomada de (Lander Rodríguez, 2020)

f. Programa Gps-X.

GPS-X es un software de modelado y simulación empleado en la industria con el propósito de diseñar, operar y optimizar sistemas de tratamiento de aguas residuales. (Hydromantis, 2003). El programa se fundamenta en conceptos y principios relevantes de la ingeniería ambiental y de los sistemas de tratamiento de agua, ya sea residual o potable. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden apreciar las funciones fundamentales del programa.

Tabla 3 características del Programa GPS-X

Especificaciones del GPS-X	
Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales	La eliminación de contaminantes del agua, la desinfección, la separación de sólidos, la biodegradación de materia orgánica y otros procesos para mejorar la calidad del agua antes de su liberación al medioambiente.
Modelado Matemático	GPS-X utiliza modelos matemáticos para representar los procesos de tratamiento de aguas residuales. Estos modelos describen cómo se comportan los contaminantes y los microorganismos en el sistema a lo largo del tiempo
Cinética de reacción	El software incorpora ecuaciones cinéticas que describen las tasas de reacción de los microorganismos y la degradación de contaminantes.
Procesos Unitarios	GPS-X modela una variedad de procesos unitarios comunes en el tratamiento de aguas residuales, como la sedimentación, la aireación, la desnitrificación, la desinfección, entre otros.
Balances de Materia y Energía	Se aplican principios de balances de materia y energía para evaluar la entrada y salida de materiales y energía en el sistema de tratamiento.
Optimización y Diseño	El software permite diseñar sistemas de tratamiento de aguas residuales de manera eficiente, minimizando costos y maximizando el rendimiento.

Nota: ^a (Hydromantis, 2003)

5. Objetivos.

5.1. General

Validar y Construir un modelo de tratamiento de aguas residuales para Silvania, Cundinamarca.

5.2. Específicos

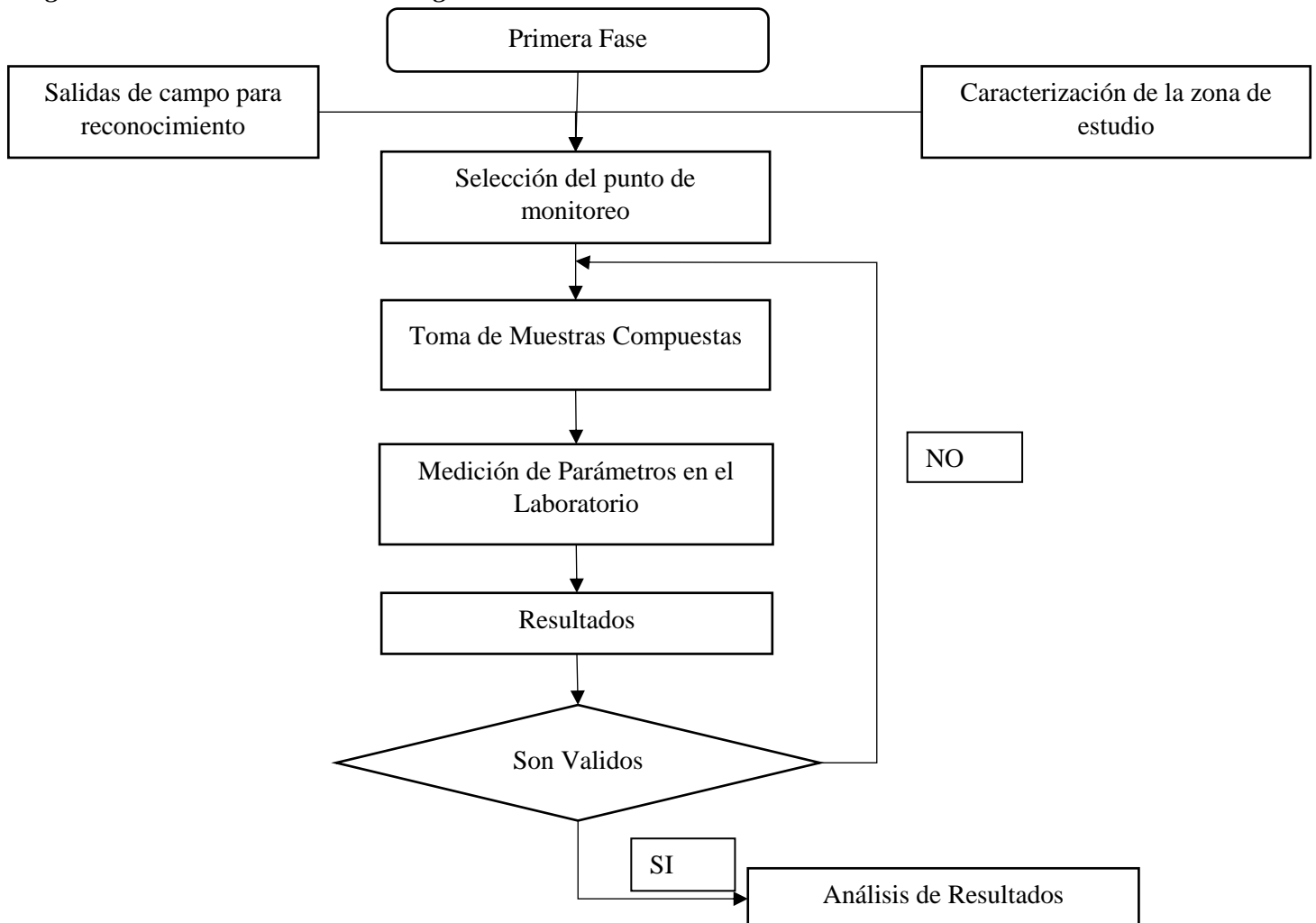
- Caracterizar exhaustivamente el vertimiento en la zona de influencia del Río Yayatá mediante el análisis detallado de factores identificados por la comunidad de Silvania, recopilados a través de sesiones de charlas participativas.
- Implementar un proceso riguroso de modelación y simulación del sistema de tratamiento de aguas residuales, evaluando su eficacia a partir de múltiples modelos de casas que representan diferentes escenarios, garantizando así la precisión y efectividad del diseño.
- Presentar de manera detallada y comprensible el funcionamiento del sistema propuesto para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) a la comunidad, promoviendo una comprensión profunda y facilitando su integración mediante estrategias pedagógicas que fomentan la apropiación y participación activa en el proceso

6. Metodología.

El proyecto se llevó a cabo mediante tres fases específicas, detalladas a continuación.

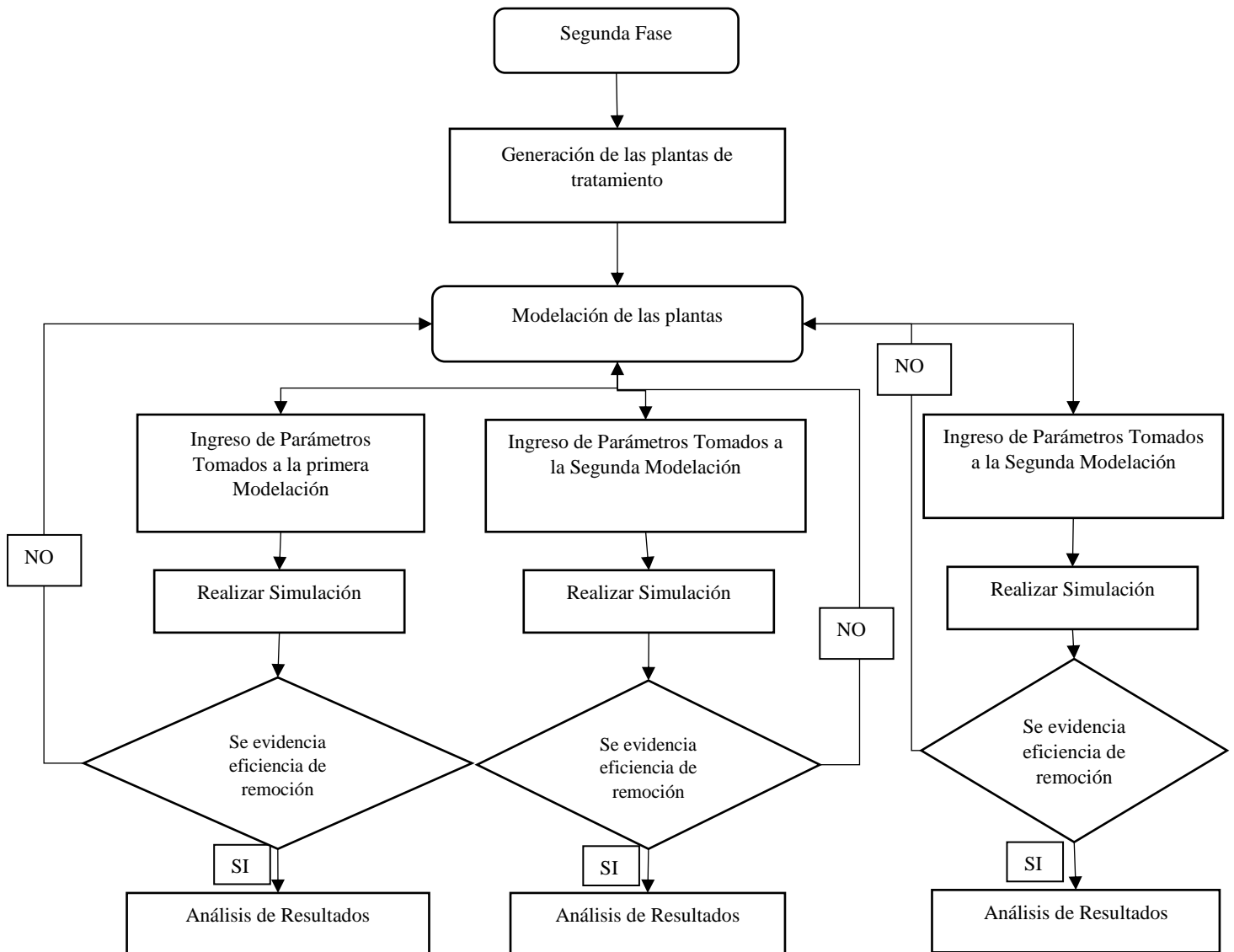
Primera Fase: Denominada la etapa de identificación y obtención de datos, en la cual se llevó a cabo un análisis de la zona, delimitando de manera específica el punto en el que se llevara a cabo la planta de tratamiento, y posteriormente se realizó un monitoreo compuesto para la obtención de los valores requeridos “dicha fase está estipulada en el **Diagrama 4.**”

Diagrama 4 Primera Fase Metodológica



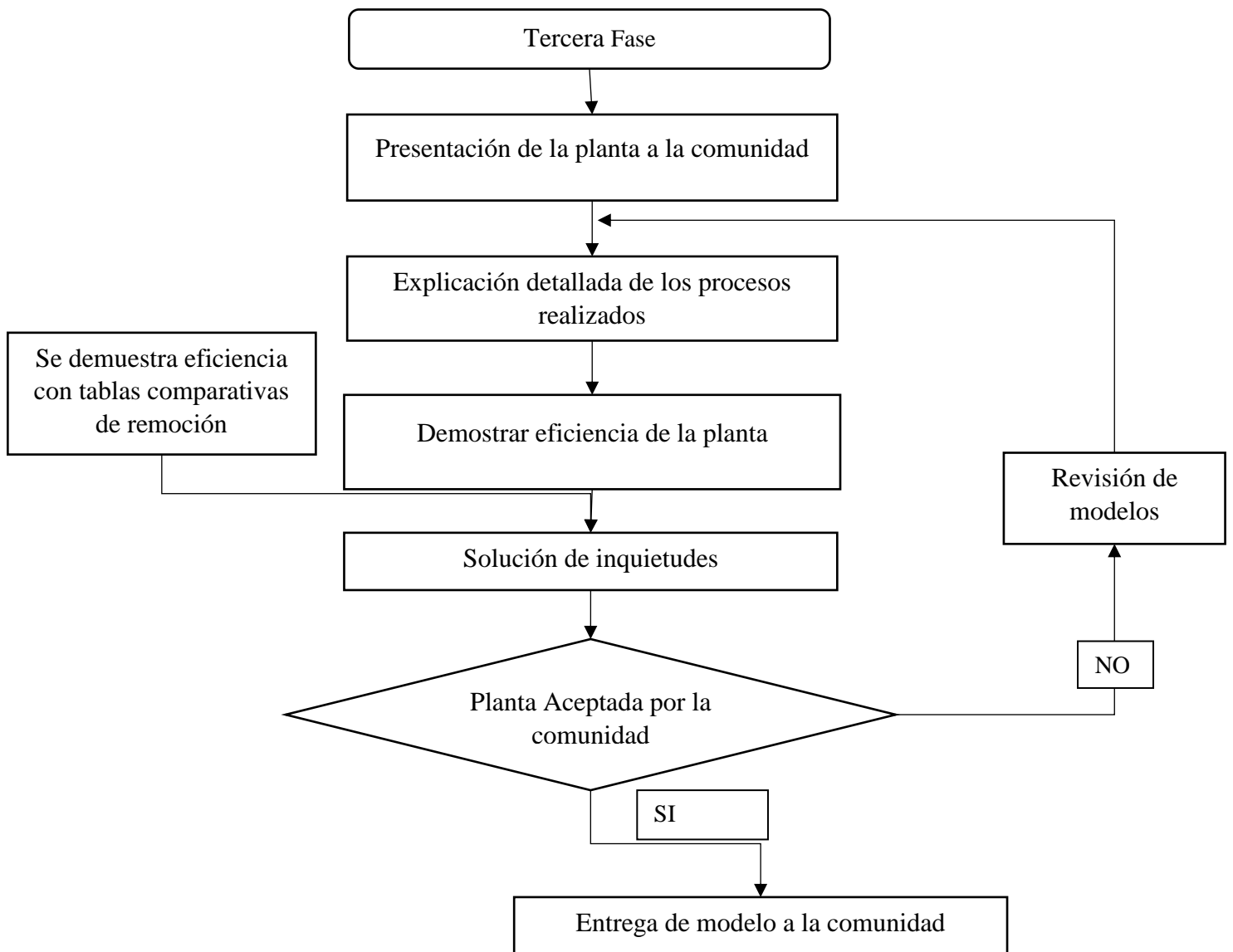
Segunda Fase: Se denomina la etapa de modelación y simulación donde con los datos obtenidos en la toma de muestra del agua obtenidos de la primera fase, se realizó todo el proceso de modelación con ayuda del programa Gps-X, el cual permite generar diferentes escenarios con distintos procesos que permiten evaluar la efectividad de cada escenario para así lograr comprender cual es el mejor. Esta segunda fase esta expresada en el **Diagrama 5**.

Diagrama 5 Segunda Fase Metodológica



Tercera Fase: Denominada Fase de Análisis de resultados y Exposición con la comunidad, tiene como objetivo, realizar una reunión con la comunidad de Silvania donde se expone la planta más eficiente explicando sus procesos y la eficiencia que posee . Esta fase esta explicada en el **Diagrama 6**.

Diagrama 6 Tercera Fase Metodológica



7. Resultados

Resultados de la Primera Fase: Durante el proceso de ejecución de la primera fase se debe tener en cuenta todos los procesos de análisis del lugar, en los cuales se contemplan características específicas como el clima donde se evidencian climas templados y además posee una temperatura entre los 15°C y los 20°C. La fuente hídrica que se va a tratar además de generar el enlace y diálogo con la comunidad para lograr realizar el proceso de solución ante las problemáticas encontradas e identificadas por la misma comunidad en pro del mejoramiento continuo, para esto se realizaron una serie de charlas con la comunidad y de la mano con el semillero de investigación y la universidad presentarnos como un ente que les quiere aportar al mejoramiento continuo y aprovechamiento el recurso hídrico.

Ilustración 1 Primer Acercamiento con la comunidad



Nota: Se observar el primer acercamiento con la comunidad, identificando sus problemáticas

Luego de realizar ese primer acercamiento con la comunidad, donde estuvieron presentes los distintos directores de los acueductos veredales que poseen la comunidad, como se observa en la **Ilustración 1**, Al momento de consultar sobre el proceso de tratamiento para el agua residual, el cual nos confirman que no poseen un sistema de tratamiento para este tipo de agua se les explica la idea propuesta del modelado con el programa, se les solicita una salida para conocimiento de donde se plantea la construcción del sistema de tratamiento ubicada cerca de la Institución Educativa Municipal Valsállice que queda cerca a la desembocadura del Rio Yayatá, con coordenadas “ Latitud 4°23'32.19"N ” y “ Longitud 74°23'36.16"O” y con un perímetro de 896 Metros (m) y un área de 42,507 Metros Cuadrados (m^2). Este proceso de delimitación se realiza con la ayuda de la herramienta Google Earth Pro dicho proceso se puede evidenciar en la **Ilustración 2**, además del Google Earth Pro en el **Anexo 5**. Se evidencia un mapa detallado de la localización geográfica del lugar de análisis.

Ilustración 2 Proceso de delimitación del área del Sistema de Tratamiento



Nota: Delimitación de la zona de construcción para la futura planta de tratamiento, tomada de Google Earth Pro.

Luego de realizar el proceso de delimitación de la zona, se procede a realizar el proceso de toma de muestras compuestas para saber el estado de calidad del agua en ese momento, dichos datos son establecidos en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se compara el resultado obtenido con los parámetros establecidos ante la normativa expresada en la **Tabla 1**, donde se evidencia que la mayoría de los valores encontrados no cumplen con la normativa específica para el agua.

Tabla 4 Resultados toma de muestras compuestas

Parámetro	Resultado	Unidad	Técnica Analítica	Método	Reglamento 631 de 2015	Cumple o No cumple
DBO	270	mg O ₂ /L	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, Ed 23-ASTM D888-18 Método C	90	No Cumple
DQO	410	mg O ₂ /L	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5220 C. Ed 23	180	No Cumple
SST	320	mg/L	Secado a 104°C Gravimétrico	SM 2540 D. Ed 23nd-2017	90	No Cumple
Dureza	350	mg CaCO ₃ /L	EDTA Tritimetric Method.	SM 2340 C. Ed 23rd-2017	No Especifica	No Aplica
Turbidez	38	NTU	Método Nefelométrico	SM 2130 B. Ed 23rd-2017	No Especifica	No Aplica
Color	100	m-1	Spectrophotometer Method	ISO 7887 Método B	Análisis y Reporte	No Aplica
pH	6,5		Método electrométrico	SM 2310 B. Ed 23rd-2017	No Especifica	No Aplica
E. coli Coliformes	Presencia		Filtración por membrana	SM 4500-CI- B. Ed 23rd-201	Análisis y Reporte	No Aplica

Nota: Datos obtenidos de la tomas de muestra realizadas, comparando con la normativa colombiana vigente.

Resultado de la Segunda Fase: Después de esto, se lleva a cabo, junto con la comunidad, un análisis técnico exhaustivo de la calidad del agua a lo largo del recorrido hídrico con el fin de determinar los criterios de descarga. Dado que las concentraciones de vertido no mantienen niveles estables, se identifica y se prioriza el porcentaje más elevado de contaminantes, aspecto esencial para la simulación del proceso.

Ilustración 3 Toma de muestras con la comunidad

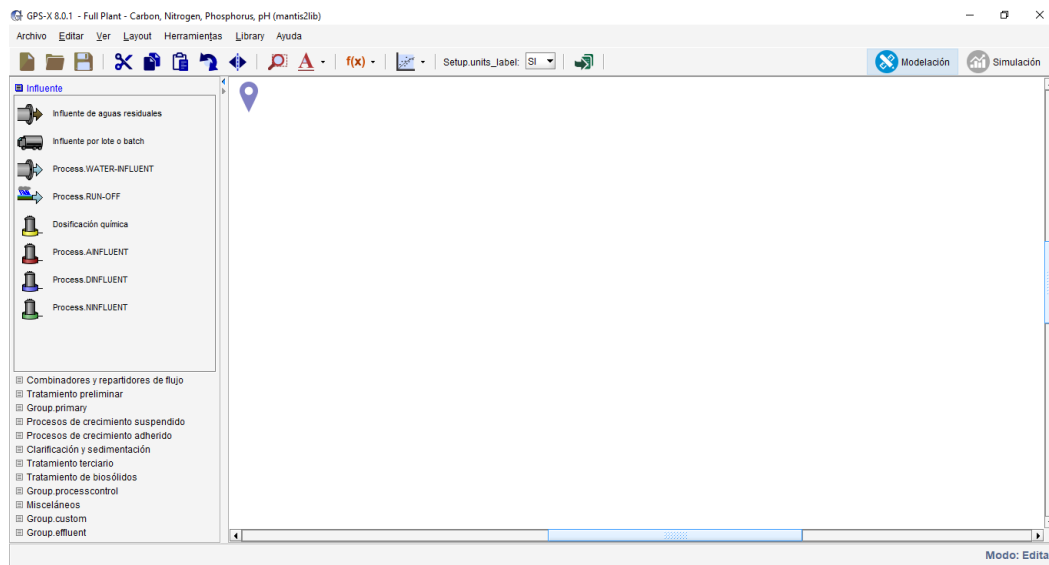


Nota: Acompañamiento y identificación de los puntos de monitoreo con la comunidad

Luego de realizar todo el proceso de acompañamiento con la comunidad para identificar los puntos de monitoreo expresado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, luego se procede a utilizar el programa de modelación y simulación, para eso se realiza el paso a paso sobre el manejo del programa para realizar las simulaciones específicas y como se debe entender como el modelo. En ese caso se debe tener en cuenta estos factores.

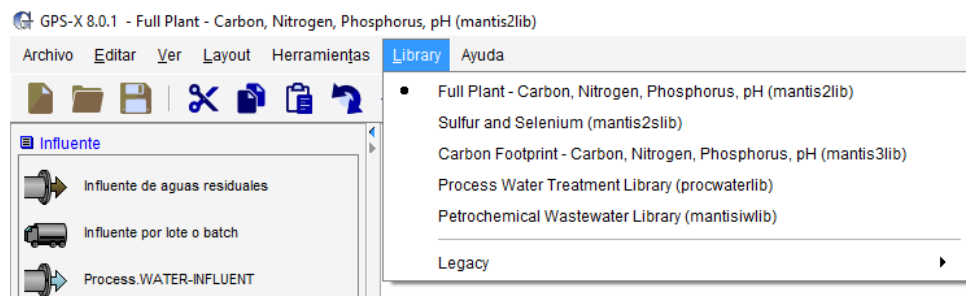
1. Se debe generar todo el modelo desde un nuevo archivo en el programa como se muestra en la Ilustración 4, esto con el fin de lograr establecer el modelo de manera propia ingresando los valores específicos.

Ilustración 4 Nuevo Archivo para generación de planta



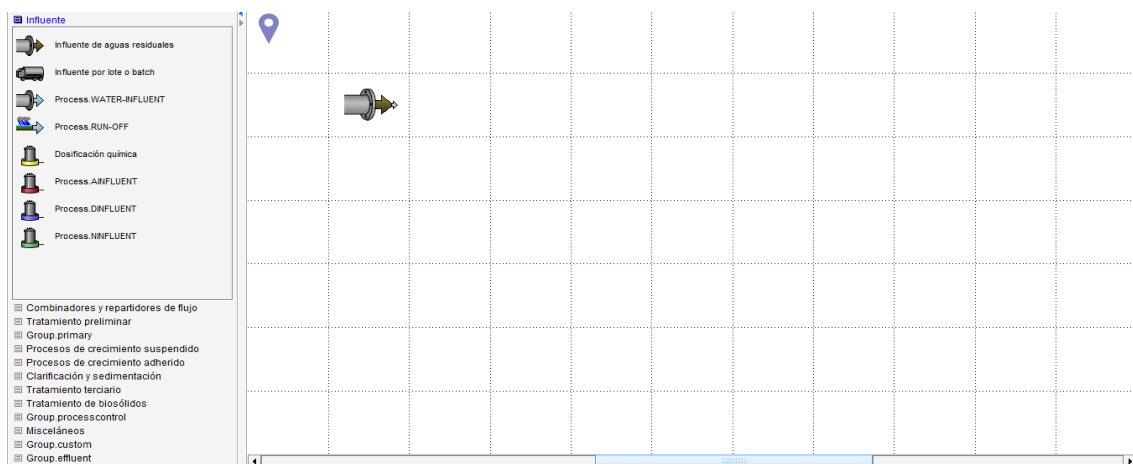
2. Se debe asegurar que esté estipulado en la sección correcta de libros. Para ello, en la parte superior de la pantalla se selecciona 'library', como se observa en la Ilustración 5, y se verifica que la opción de planta completa ('Full plant') esté activa para tener disponibles todas las posibilidades.

Ilustración 5 Actualización Pantalla Completa



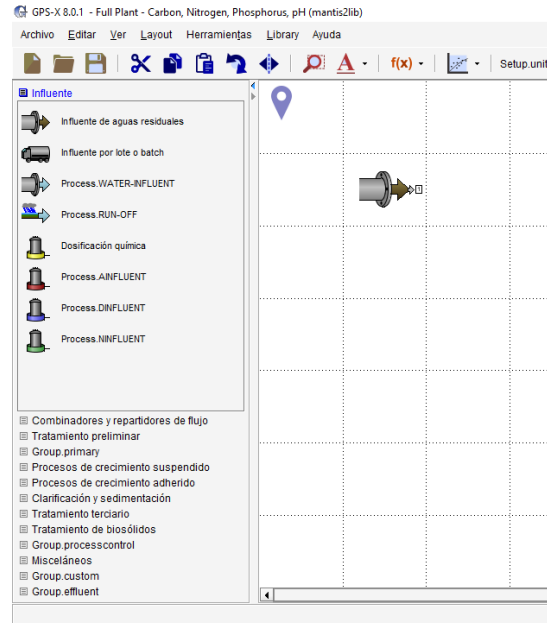
3. Luego de haber realizado, de manera específica, el proceso anteriormente descrito, se procede a analizar y construir el modelo. Para ello, se debe activar la opción de visualización de ventana, donde se demuestran todos los factores disponibles para la construcción del modelo, tal como se muestra en la Ilustración 6

Ilustración 6 Ventana de procesos para construcción de modelos



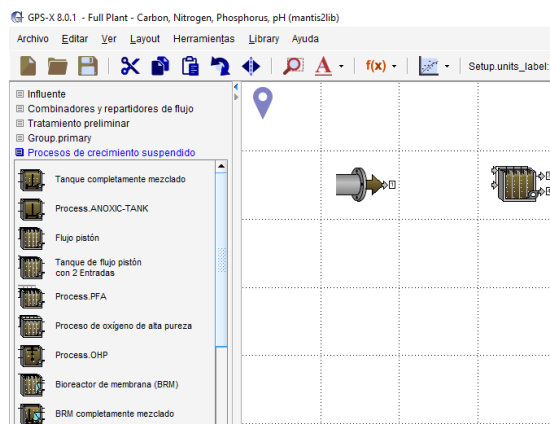
4. Para empezar a generar el modelo base se debe generar el influente inicial desde donde se capta el agua que ingresa a la planta, este se elige dependiendo de la necesidad que se requiere simulador dependiendo directamente del tren de tratamiento que se vaya a realizar, para esto se selecciona como se evidencia en la *Ilustración 6* una de las opciones que se tiene disponible y para generar el proceso se arrastra el influente que se requiere a la página principal del modelo como se muestra en la *Ilustración 7*.

Ilustración 7 Proceso de Ingreso de Influyente



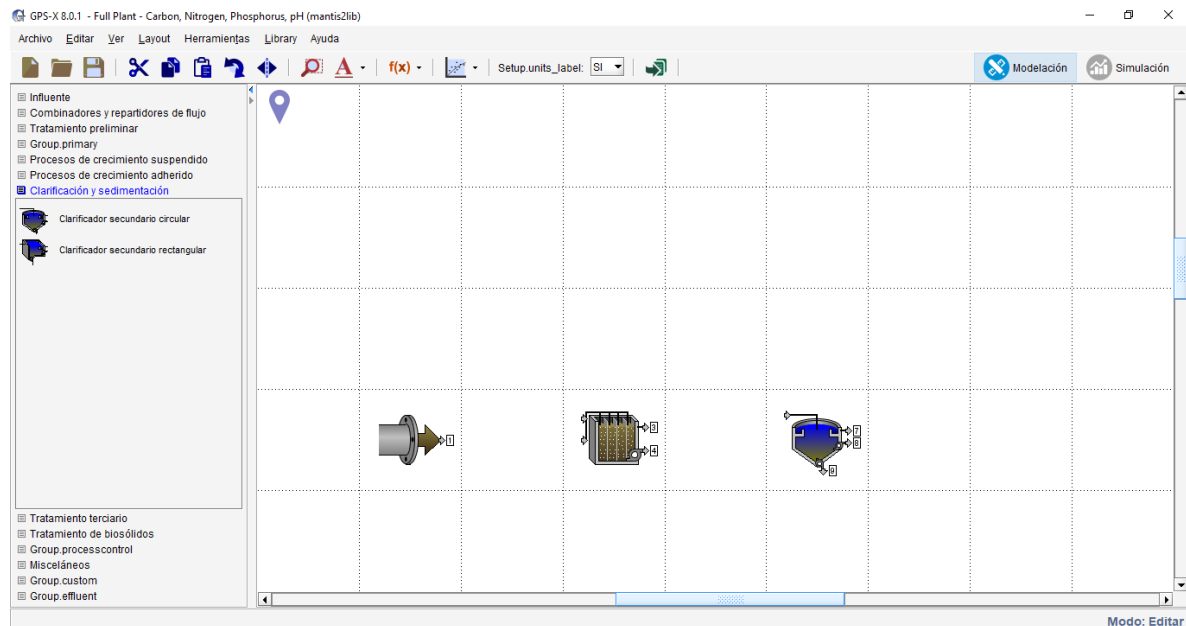
5. Luego de realizar este proceso nos dirigimos a la parte izquierda de la pantalla a la opción que dice procesos de crecimiento suspendido (*the suspended growth process*), y se selecciona aquel que dice flujo pistón (*plug-flow tank*) y se arrastra al panel principal como se observa en la **Ilustración 8**.

Ilustración 8 Inserción de tanque de flujo pistón



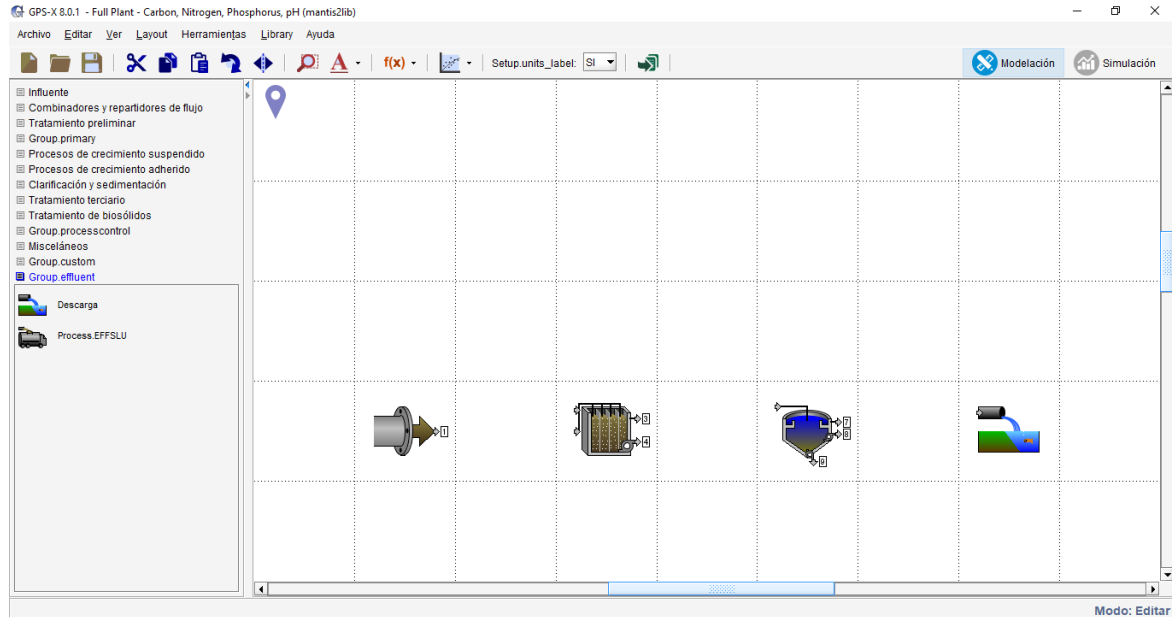
6. Luego de haber realizado el proceso de Inserción correspondiente, nos dirigimos nuevamente a la barra de herramientas y buscamos donde diga clarificación y sedimentación (*Secondary clarifiers*) y seleccionamos el primer elemento que aparece en este caso es una clarificadora circular secundario y lo ingresamos al modelo como lo evidencia la **Ilustración 9**.

Ilustración 9 Inserción de clarificador circular



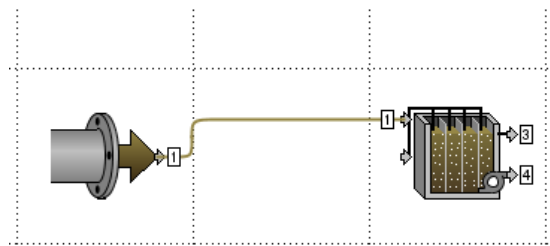
7. Para finalizar el proceso nos dirigimos nuevamente a la barra lateral de herramientas y damos clic en donde dice *group effluent* que es donde evidencia a donde va terminar todo el tren de tratamiento del modelo que se está modelando al seleccionar nuevamente el lugar de disposición se arrastra al panel principal como se observa en la Ilustración 10.

Ilustración 10 Proceso de tren de tratamiento completo



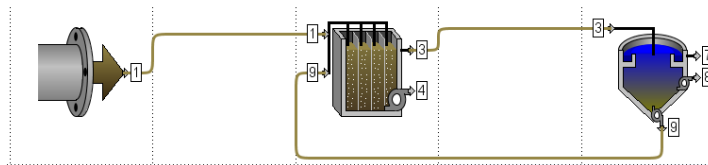
8. Luego de generar todo el proceso de selección para el tren de tratamiento se procede a realizar el proceso de unión de cada una de ellas esto nos permite unir las operaciones entre sí teniendo en cuenta un tren específico de tratamiento. Inicialmente se procede con el influente entrando directamente al tanque de flujo pistón que se logra observar en la *Ilustración 11*.

Ilustración 11 Unión de Efluente



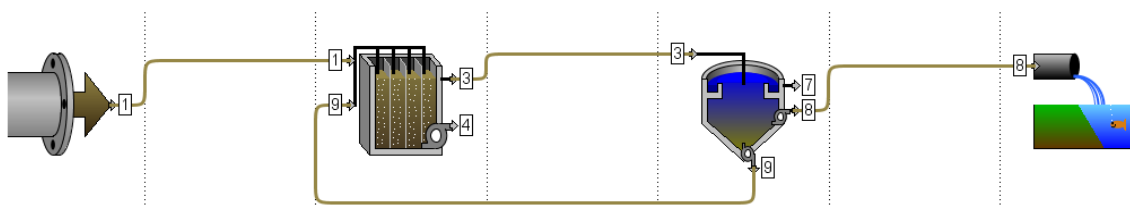
9. Luego de esto, se procede a realizar la siguiente conexión: se conecta el tanque de flujo pistón con el clarificador secundario circular previamente seleccionado en la Ilustración 9, ya que es un sedimentador clarificador, quedan lodos acumulados en la parte inferior del tanque, lo cual nos permite el sistema realizar una recirculación específica para el aprovechamiento del lodo que queda sedimentado, tal como se observa en la Ilustración 12, esta recirculación nos permite el mejor aprovechamiento de todo el material que posea la planta.

Ilustración 12 Recirculación de lodos



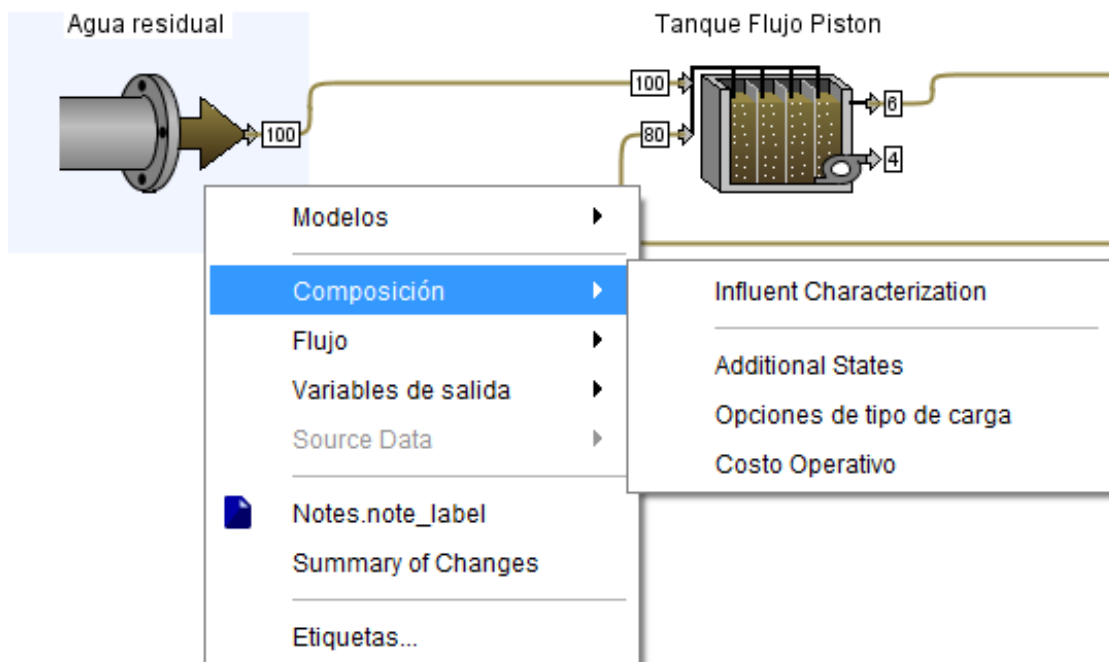
10. Para finalizar el proceso del tren de tratamiento se realiza el proceso de salida hacia el efluente en este caso solo nos permite una salida directa del clarificador al efluente como se evidencia en la Ilustración 13.

Ilustración 13 Proceso de conexión terminado del tren de tratamiento



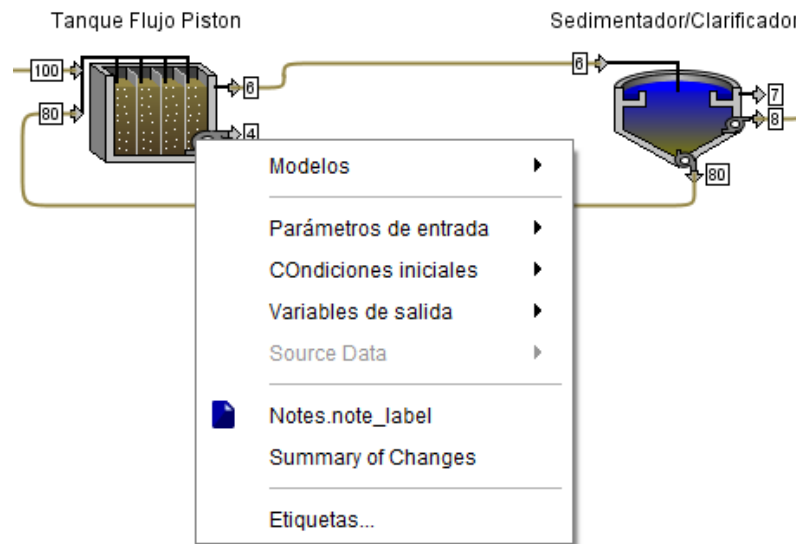
11. Se dirige uno a la primera parte del modelo que es el efluente donde ingresa el agua al modelo nos paramos sobre él y se da clic derecho en el mouse donde se despliega un menú rápido y se ingresa a composición y donde dice *influent characterization* como se evidencia en la **Ilustración 14**.

Ilustración 14 Proceso de ingreso de datos específicos



12. Luego de haber ingresado a *influent characterization* saldrá una ventana emergente en donde aquellos valores que aparecen en azul son los que se pueden editar como se evidencia en la Ilustración 15, luego de eso el resto de valores se ajustaran a esos valores que se ingresaron de tal manera que cumplan con lo estipulado en el programa.

Ilustración 15 Pantalla emergente parámetros de efluente



13. Eso, en cuanto al efluente, al momento de pasar a los dos procesos mecánicos, como lo son el tanque de flujo pistón y el sedimentador clarificador, los ajustes son distintos. Esto se debe a que se deben tener en cuenta los parámetros de entrada y salida que se observan en los resultados de la segunda fase, con sus porcentajes de remoción, entre otros factores específicos. Todo esto se logra evidenciar en la **Ilustración 16**.

Entre esos parámetros, se debe tener en cuenta todo el proceso: la potencia que se les va a dar, el tiempo en el que van a estar con el agua para todo el proceso, las características que se desean obtener de salida, entre otros Factores importantes que se deben considerar para el proceso de simulación y modelación.

Ilustración 16 Menú específico para programación de variables mecánicas

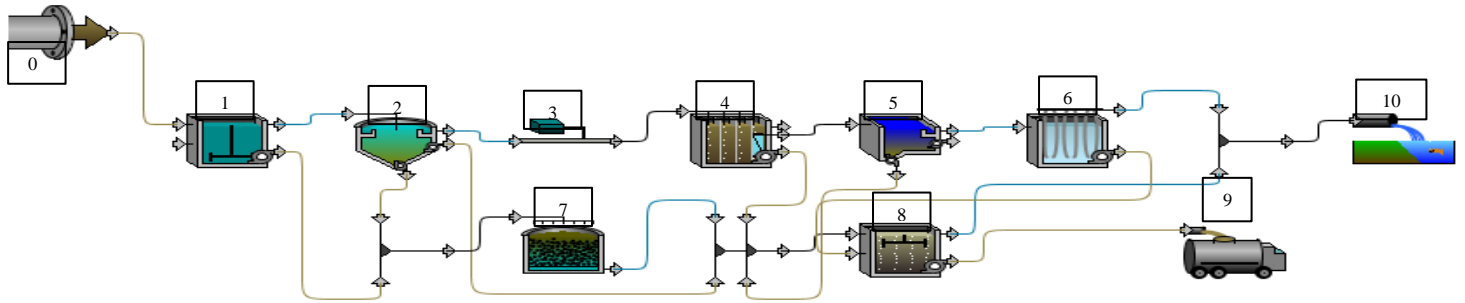
Influent Advisor - Library: mantis2lib - Influent Model: codstates - Modelo biológico: mantis2			
User Inputs			
- Influent Composition			
cod	DQO total	gCOD/m3	290.0
tkn	NTK total	gN/m3	36.0
tp	fósforo total	gP/m3	9.0
- Nitrogen Compounds			
snh	nitrógeno del amoniaco	gN/m3	25.0
snoi	nitrito	gN/m3	0.0
snoa	nitrato	gN/m3	0.0
- Phosphorus Compounds			
sp	ortho-phosphate	gP/m3	8.0
xpp	stored poly-phosphate in P...	gP/m3	0.0
- Influent Fractions			
ivstots	proporción SSV / SST	gVSS/gTSS	0.8
- Organic Fractions			
frsi	soluble inert fraction of total ...	-	0.075
frss	readily biodegradable fracti...	-	0.3
frxi	particulate inert fraction of to...	-	0.1
frscol	colloidal fraction of slowly bl...	-	0.26
- Nitrogen Fractions			
frsnh	fracción del amonio en el N...	-	0.9
insi	Contenido de N en el mater...	gN/gCOD	0.05
inxi	N content of inert particulate...	gN/gCOD	0.05
- Phosphorus Fractions			
ipsi	Contenido de P del material...	gP/gCOD	0.01
ipxi	P content of inert particulate...	gP/gCOD	0.01
- pH and Alkalinity			
Variables de Estado			
- Soluble Gases			
so	oxígeno disuelto	gO2/m3	0.0
+ Other Soluble Gases			
+ Other Soluble Organic Variables			
+ Other Particulate Organic Compounds			
- Nitrogen Variables			
snh	nitrógeno del amoniaco	gN/m3	25.0
snoi	nitrito	gN/m3	0.0
snoa	nitrato	gN/m3	0.0
+ Other Nitrogen Variables			
- Phosphorus Variables			
sp	ortho-phosphate	gP/m3	8.0
+ Other Phosphorus Variables			
- Biomass Variables			
xbh	heterotrophic biomass	gCOD/m3	0.0
xbai	ammonia oxidizer biomass	gCOD/m3	0.0
xbaa	nitrite oxidizer biomass	gCOD/m3	0.0
xbp	phosphate accumulating bi...	gCOD/m3	0.0
xbf	fermenting biomass	gCOD/m3	0.0
xbpro	acetogenic biomass	gCOD/m3	0.0
xbacm	acetoclastic methanogenic...	gCOD/m3	0.0
xbh2m	hydrogenotrophic methano...	gCOD/m3	0.0
xbmet	methylotrophic biomass	gCOD/m3	0.0
xbam	anammox biomass	gCOD/m3	0.0
- Carbon Variables			
stic	total soluble inorganic carb...	gC/m3	74.5
Variables compuestas			
- Solids Variables			
x	sólidos suspendidos totales	g/m3	108.7
vss	sólidos suspendidos volátil...	g/m3	86.9
xiss	sólidos suspendidos inorg...	g/m3	21.7
ivt	proporción SSV / SST	gVSS/gTSS	0.8
- Organic Variables			
scod	soluble COD	gCOD/m3	148.3
cod	DQO total	gCOD/m3	290.0
sbod	soluble cBOD5	gO2/m3	90.8
bod	total cBOD5	gO2/m3	156.1
stbod	soluble cnBOD5	gO2/m3	212.7
ttbod	total cnBOD5	gO2/m3	309.0
svfa	ácidos grasos volátiles	g/m3	0.0
+ Other Organic Variables			
- Nitrogen Variables			
snox	nitrite and nitrate	gN/m3	0.0
tkn	NTK total	gN/m3	36.0
tn	nitrógeno total	gN/m3	36.0
tninert	total inert organic nitrogen	gN/m3	2.54
+ Other Nitrogen Variables			
- Phosphorus Variables			
stp	soluble total phosphorus	gP/m3	8.22
tp	fósforo total	gP/m3	9.0
tpinert	total inert organic phosphor...	gP/m3	0.508
+ Other Phosphorus Variables			
+ Other Biomass Variables			

Después de comprender todo el proceso de gestión del sistema, se procede a generar un total de tres escenarios específicos para la construcción de las plantas de tratamiento comunitario. Se desarrollan tres escenarios para evidenciar distintos mecanismos de tratamiento de agua y demostrar cuál es más efectivo, eficiente y factible para la construcción

Generación de los escenarios.

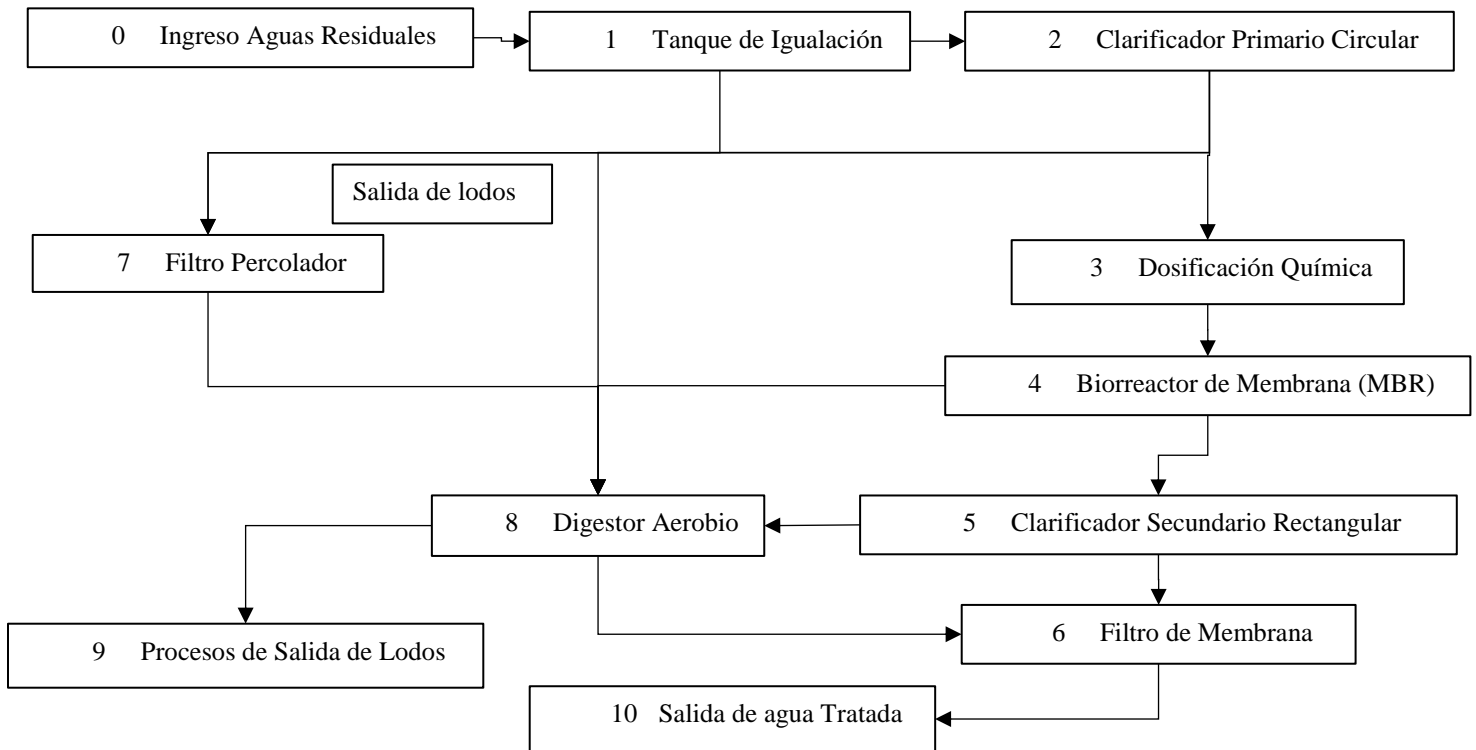
Primer Escenario: Se considera solo una entrada de agua residual, además se consideran varios factores de tratamiento, donde se aprovecha de igual manera los lodos que genera todo el proceso, se ingresan los valores específicos dados en la fase 1 los cuales son (DBO, DQO, SST, TURBIDEZ), el modelo quedó identificado en la **Ilustración 17**.

Ilustración 17 Primer Escenario Generado



En el **Diagrama 7** se puede evidenciar el tren de tratamiento donde se explica de manera descriptiva todo el proceso generado en la **Ilustración 17**.

Diagrama 7 Tren de Tratamiento Primer Escenario



Se establece un caudal de entrada de 1 l/s. Después de completar el proceso de simulación durante un período de 24 horas, se obtienen los siguientes datos, los cuales se explican en la

Tabla 5.

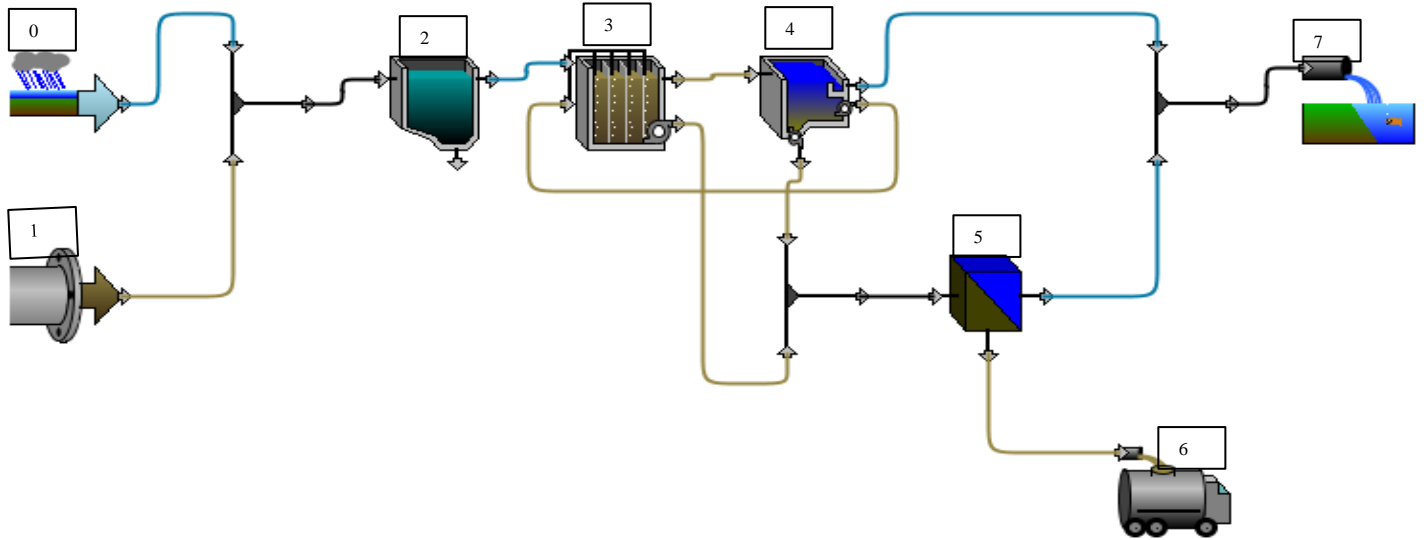
Tabla 5 Valores Obtenidos a lo largo del primer escenario

Valores específicos	Unidades de Medida	Total, In	Total, Out	Porcentaje de Remoción	Cumple – No Cumple
SST	kg/d	320	290	9,4 %	No cumple
DQO	kg/d	410	370	9,8 %	No Cumple
TURBIDEZ	kg/d	38	30	21,1 %	No aplica
DBO	kg/d	270	220	18%	No Cumple

Tras llevar a cabo el análisis, se observa que no hay una reducción significativa de los contaminantes específicos; en términos porcentuales, ninguno de ellos baja más del 25%. Esto indica una eficiencia de remoción insuficiente. A pesar de que el primer escenario incluye varios procesos que promueven la optimización de recursos, como los lodos activados, se puede constatar, según se muestra en el **Anexo 1**, a través del diagrama sankey, el flujo del proceso que sigue la planta.

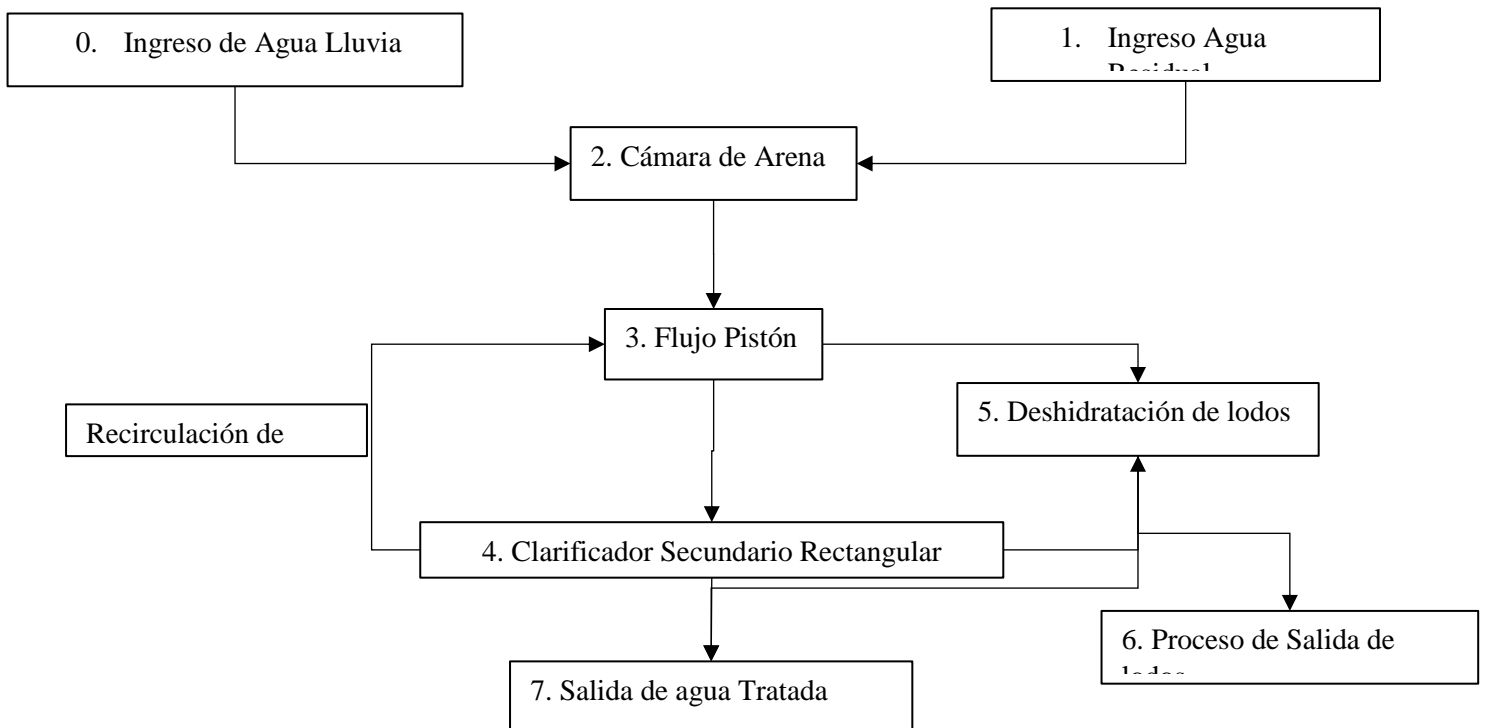
Segundo Escenario: Se consideran dos entradas una de aguas residuales y otra de aguas lluvia se considera un tren de tratamiento específico más simplificado distinto como el expresado en la **Ilustración 17**, igual se aprovechan los lodos generados, pero no se evidencia una recirculación anterior de lodos, el escenario propuesto se evidencia en la **Ilustración 18**.

Ilustración 18 Segundo Escenario Propuesto



En el **Diagrama 8** se puede evidenciar el tren de tratamiento donde se explica de manera descriptiva todo el proceso generado en la **Ilustración 18**

Diagrama 8 Tren de Tratamiento Segundo Escenario



Se ingreso un caudal de 1 l/s en entrada de agua residual en aguas lluvia se considera un caudal de 0,01 l/s, luego de realizar el proceso de simulación para un periodo de 24 horas se obtienen los siguientes datos explicados en la **Tabla 6**

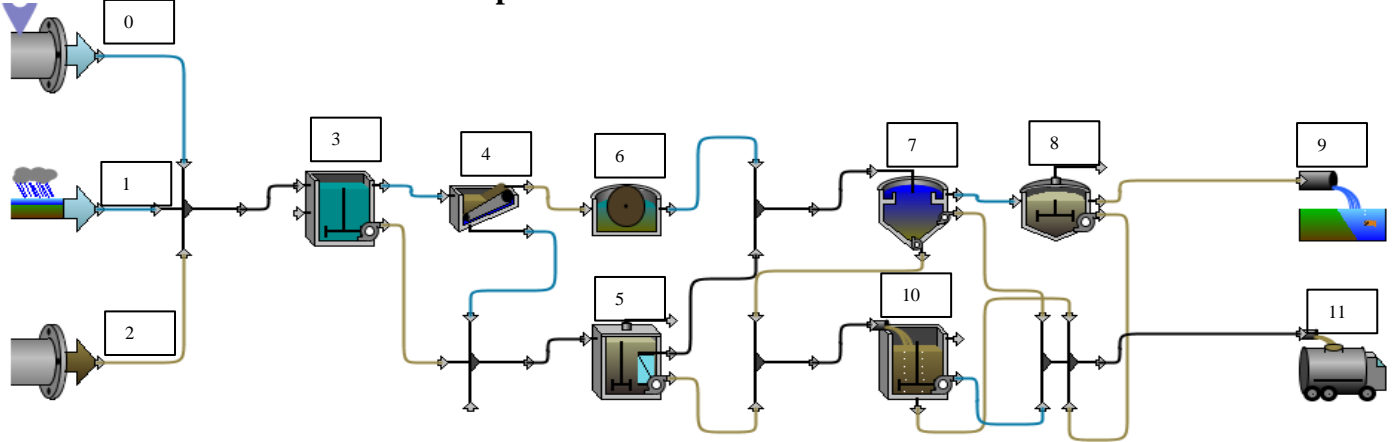
Tabla 6 Valores Obtenidos a lo largo del Segundo Escenario

Valores específicos	Unidades de Medida	Total, In	Total, Out	Porcentaje de Remoción	Cumple – No Cumple
SST	kg/d	350	85	75,7 %	Cumple
DQO	kg/d	430	170	60,5 %	Cumple
TURBIDEZ	kg/d	42	20	52,4 %	No aplica
DBO	kg/d	290	85	70,7 %	Cumple

Se observa una disminución considerable de los contaminantes, con un porcentaje de remoción superior al 50%. Este proceso más detallado implica que el lodo activado no se recircula, sino que se envía a un afluente específico para su tratamiento, lo que facilita una reducción mayor de los contaminantes. El diagrama sankey, presentado en el **Anexo 1** ilustra el flujo del proceso en la planta

Tercer Escenario: Se contemplan tres entradas: aguas residuales, aguas pluviales y escorrentía. Se establece un sistema de tratamiento más complejo que incluye diversos procesos, los cuales difieren de los mostrados en las Ilustración 17 e Ilustración 18. Además, se realiza el aprovechamiento de los lodos generados. mediante varios procesos de recirculación. El diseño de este sistema de tratamiento se visualiza en la **Ilustración 19**

Ilustración 19 Tercer Escenario Propuesto



Se ingresan dos caudales de 1 l/s en entrada de agua residual en aguas lluvia se considera un caudal de 0,01 l/s, luego de realizar el proceso de simulación para un periodo de 24 horas se obtienen los siguientes datos explicados en la **Tabla 7**

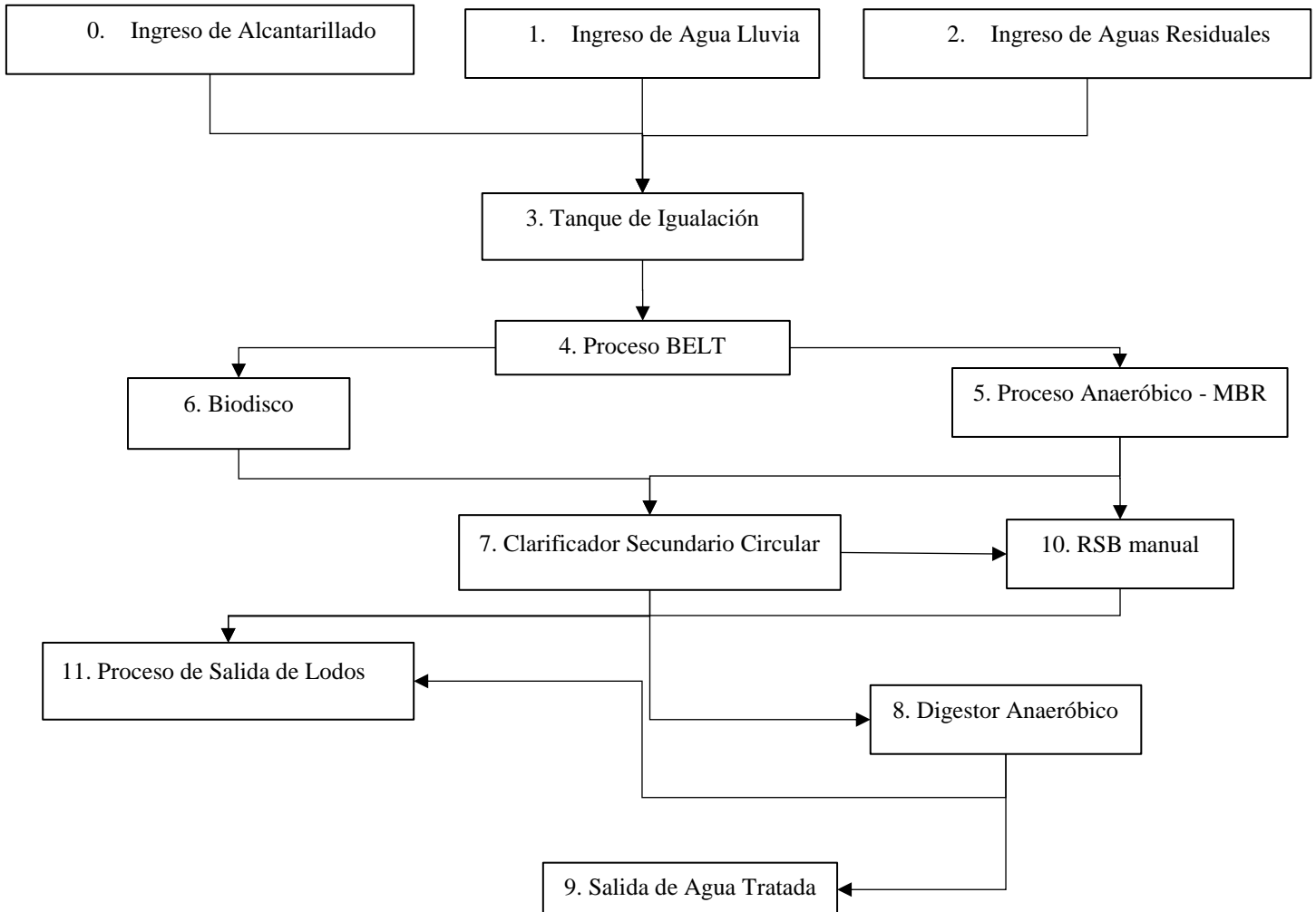
Tabla 7 Valores Obtenidos a lo largo del Tercer Escenario

Valores específicos	Unidades de Medida	Total, In	Total, Out	Porcentaje de Remoción	Cumple – No Cumple
SST	kg/d	470	380	23,7 %	No Cumple
DQO	kg/d	490	360	26,5 %	No Cumple
TURBIDEZ	kg/d	50	40	20 %	No aplica
DBO	kg/d	310	260	16,1 %	Cumple

Después de realizar el proceso de comparación se logra evidenciar que no hay una disminución significativa de los contaminantes específicos con un porcentaje menor del 25%, aunque el escenario posee múltiples procesos que favorece el aprovechamiento de distintos recursos como lo son los lodos activados, se evidencia en el **Anexo 1** el diagrama sankey que posee una pérdida específica de caudal.

En el **Diagrama 9** se puede evidenciar el tren de tratamiento donde se explica de manera descriptiva todo el proceso generado en la **Ilustración 19**

Diagrama 9 Tren de Tratamiento Tercer Escenario



Resultados Tercera Fase: Tras la obtención de los resultados de la fase previa, se lleva a cabo una reunión con la comunidad con el fin de proporcionar una explicación detallada de los resultados obtenidos desde la primera fase, así como de los procedimientos de modelación y simulación realizados en la segunda fase. Asimismo, se les presenta de forma detallada el procedimiento de construcción paso a paso y se comparten los porcentajes de remoción alcanzados a lo largo de las simulaciones.

Ilustración 20 Exposición de la Planta a la comunidad



En este contexto, se detallaron los diferentes componentes que integrarán la planta destinada al municipio. El propósito es cumplir con los objetivos de eficiencia y sostenibilidad establecidos por la comunidad, los cuales son los pilares fundamentales que han guiado este

proceso. Se priorizan procesos de alta velocidad, impidiendo la implementación de un tren de tratamiento extenso, pero garantizando el cumplimiento de la normativa colombiana.

Posteriormente, se selecciona el diseño de la planta que se muestra en la **Ilustración 18**.

Posteriormente, se procede a abordar y resolver las interrogantes, asegurando la comprensión completa del procedimiento.

Se detalla además la exposición a la comunidad, con la participación de los representantes legales de los acueductos veredales, a través de un registro fotográfico, tal como se evidencia en el Anexo 3.

8. Discusiones.

Durante el análisis inicial para identificar la problemática, se observará un interés marcado por parte de la comunidad en la comunicación. Tras establecer el vínculo, se evidencia la necesidad urgente de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de mejorar la calidad del suministro de agua. Los resultados reflejados en la Tabla 4 revelan valores significativamente altos que exceden los límites normativos colombianos, evidenciando científicamente una calidad de agua residual extremadamente deficiente. Estos resultados, además, tienen implicaciones aguas abajo para otros usuarios de dicho cuerpo hídrico.

Durante la fase de comprensión de los escenarios para las plantas de tratamiento, se presentaron desafíos notables, especialmente en lo concerniente a la eliminación de contaminantes. Se enfocó en la evaluación de la viabilidad de diversas opciones en cuanto a la sostenibilidad, la economía y la comprensión accesible para la comunidad.

Los diferentes escenarios planteados involucran distintos métodos de remoción de contaminantes para determinar cuál logra la mayor eficacia en términos de porcentaje de eliminación. Algunos de estos escenarios presentan tasas de remoción más elevadas que otros. Sin embargo, en términos porcentuales, la eficiencia de remoción de contaminantes no cumplió con las expectativas en dos de los tres escenarios, como se evidencia en el

Anexo 2. Las gráficas presentadas en este anexo respaldan el proceso de análisis, ajustándose a los criterios establecidos por la normativa colombiana. seleccione el escenario dos, como se muestra en la **Ilustración 18**, ya que demuestra ser el más efectivo en la reducción de contaminantes y resulta más eficiente tanto en la construcción, debido a sus procesos más concretos y específicos, como en el mantenimiento, lo que permite a la comunidad abordar su sostenibilidad de manera más efectiva

Se presento a la comunidad una exposición detallada que expone los porcentajes de eliminación de cada uno de los escenarios, proporcionando enfoques específicos para facilitar la elección del escenario adecuado. Se les proporcionan los diagramas Sankey que se encuentran en el *Anexo 1* con el fin de que puedan verificar los procesos seleccionados y tomar una decisión en pro del mejoramiento de su comunidad, la comunidad al analizar y resolver las dudas planteadas procede a recibir el sistema de tratamiento, expresando su agradecimiento visualizado en el

Anexo 4.

9. Conclusiones

1. Se llevó a cabo una caracterización exhaustiva del recurso hídrico en la comunidad de Sylvania, integrando la perspectiva y el conocimiento aportado por la comunidad junto con la información identificada por el equipo. Esta aproximación holística permitió obtener una visión completa y precisa de la situación del recurso hídrico en la región.
2. La colaboración estrecha con la comunidad fue esencial para identificar problemas y proporcionar soluciones directas que abordaran los desafíos relacionados con el uso y la gestión de los recursos naturales. Esta interacción fortaleció la comprensión de conceptos clave como la gobernanza del agua, resaltando su importancia más allá del mero uso, enfocándose en su cuidado y aprovechamiento sostenible.
3. Durante el proceso de socialización, se evidenció la aceptación y gratitud de la comunidad hacia las soluciones presentadas. Se estableció un compromiso claro de apoyo continuo en el manejo integral del proceso, consolidando así una relación sólida y colaborativa con la comunidad en la gestión del recurso hídrico.
4. El Programa Gps-x desempeñó un papel crucial en la consecución de los objetivos. La aplicación de nuevos conceptos y herramientas contribuyó significativamente a la implementación de mecanismos de solución más eficientes, especialmente en el diseño y validación del modelo de tratamiento de aguas residuales para Sylvania, Cundinamarca.

a. Recomendaciones.

1. Se aconseja una adecuación precisa del programa, con una exhaustiva comprensión de sus limitaciones en el proceso de modelado, con el fin de prevenir confusiones en el análisis de los resultados generados. Asimismo, se aconseja identificar las deficiencias del sistema con el fin de fomentar mejoras continuas.
2. Se propone llevar a cabo acciones de sensibilización acerca del recurso hídrico, respaldada por la Escuela Territorial, con el propósito de despertar el interés de futuros estudiantes de ingeniería en esta materia.
3. Se destaca la necesidad de alcanzar un mayor conocimiento y mejora en el análisis de las lecciones técnicas, lo cual contribuirá a incrementar la confianza tanto de los estudiantes como de las comunidades involucradas.

10. Bibliografía.

- BOLÍVAR MAURICIO, A. B., & JOE BOLÍVAR, C. C. (2020). *MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EMPLEANDO MODELOS ASM* [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18603/1/UPS%20-%20ST004518.pdf>
- CECILIA ÁLVAREZ, & CORREA GLEN. (2015, agosto 5). *DECRETO 1595 DE 2015*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=62889>
- CHACÓN PÁEZ JULIANA ANDREA, & RAMÍREZ SÁNCHEZ LAURA ISABELA. (2020). *PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) PARA EMPRESA DE LÁCTEOS, A PARTIR DE LA SIMULACIÓN DEL SOFTWARE GPS-X*. [UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA]. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/e4364409-6558-4c70-93ba-74793578bba8/content>
- CORREA CARLOS. (2021, noviembre 23). *Resolución 1256 de 2021 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=118863>
- Espinosa, M., Delgado, R., & Hidalgo, A. (2020). EVALUACIÓN DE UN PROCESO ANÓXICO-AEROBIO-REACTOR BIOLÓGICO DE MEMBRANA CON ALTO CONTENIDO DE NITRÓGENO. *Rev. Int. Contam. Ambient*, 36(0188–4999).
- Hydromantis, Inc. (2003). *Gps-x 8.1*. <https://www.hydromantis.com/>
- Lander Rodríguez, J. (2020, diciembre 15). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes*. <https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>
- Melcaff, & Eddy. (2001). *Ingeniería de aguas residuales* (3a ed., Vol. 1).
- MINAMBIENTE. (2014, enero 17). *RESOLUCIÓN 631 DE 2015*. MINISTERIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE . <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Opolenco, V. (2022). Potential use of wastewater for irrigation and aquifer recharge water: La Villa River basin, Republic of Panamá. *Scielo*, 68, 1–10.
- RAMALHO RUBENS SETTE. (1990). *Tratamiento de aguas residuales* (1a ed.). Editorial Reverte.

Romero Rojas Jairo Alberto. (1999). *Tratamiento de Aguas Residuales - Teoría y principios de diseño*. (Vol. 1). Escuela Colombiana de Ingeniería .

UNESCO. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, resumen ejecutivo*. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. .

Zarza, L. (2019, octubre 28). *¿Qué son las aguas residuales?*
<https://www.iagua.es/respuestas/que-son-aguas-residuales>

11. Anexo 1

Ilustración 21 Diagrama Sankey Primer Escenario

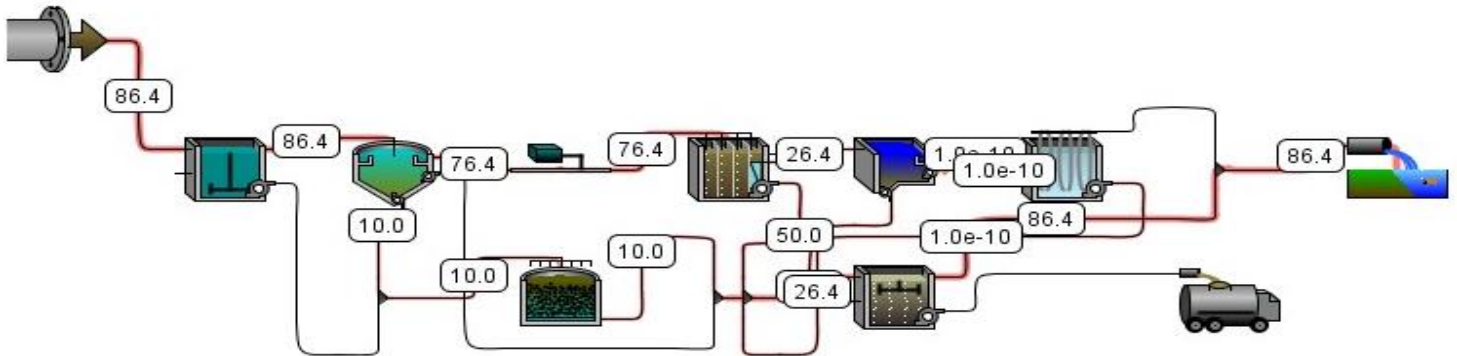


Ilustración 22 Diagrama Sankey Segundo Escenario

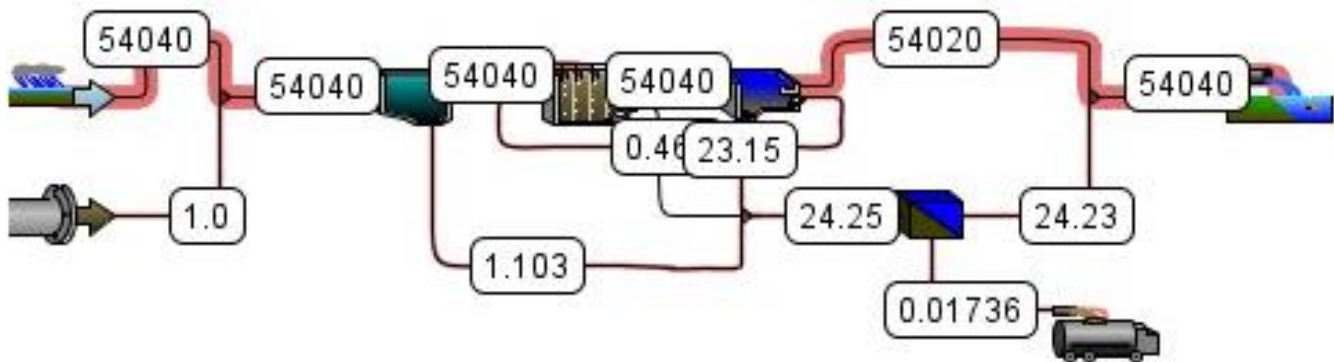
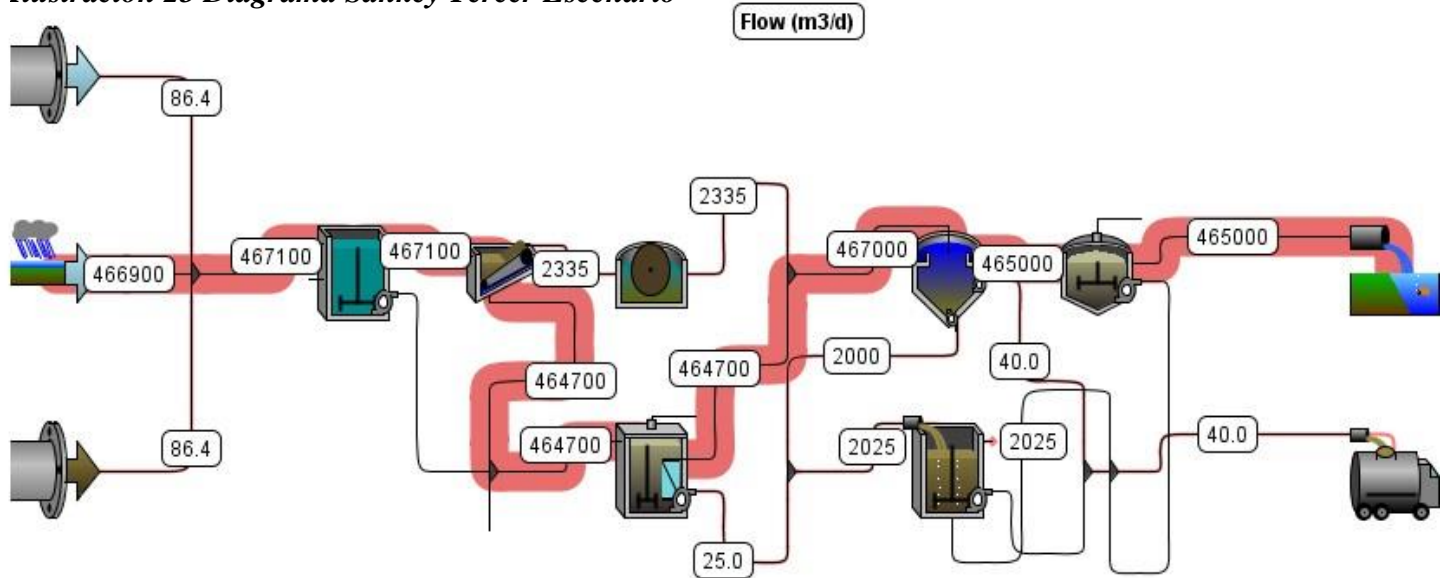


Ilustración 23 Diagrama Sankey Tercer Escenario



12. Anexo 2.

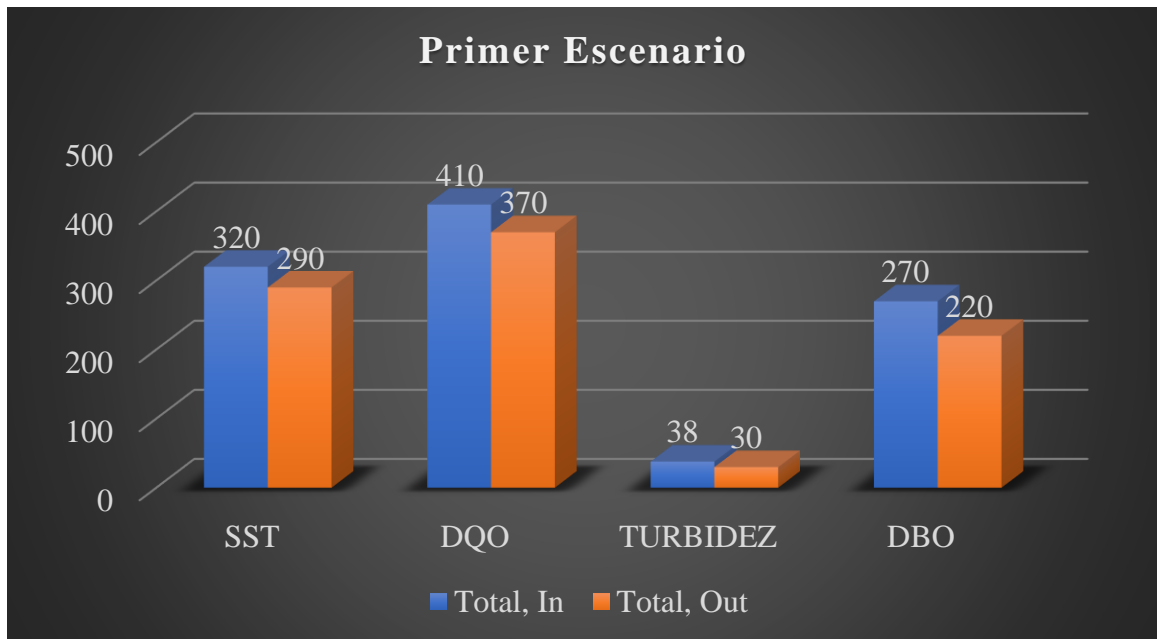


Diagrama 10 Resultados de remoción Primer Escenario

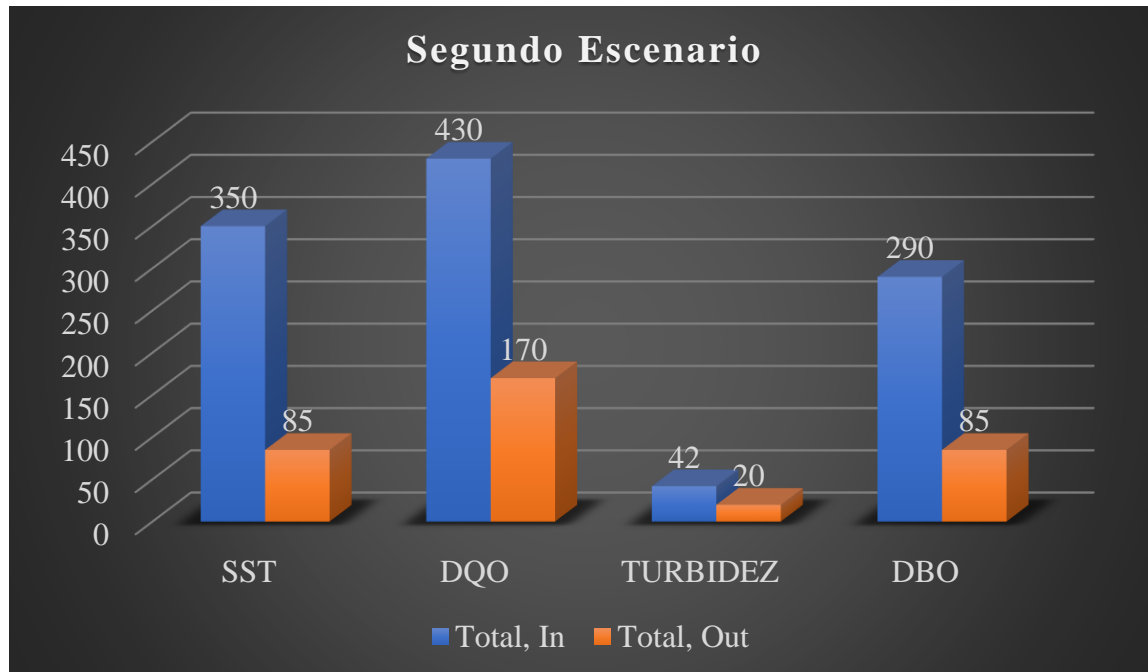


Diagrama 11 Resultados Remoción Segundo Escenario

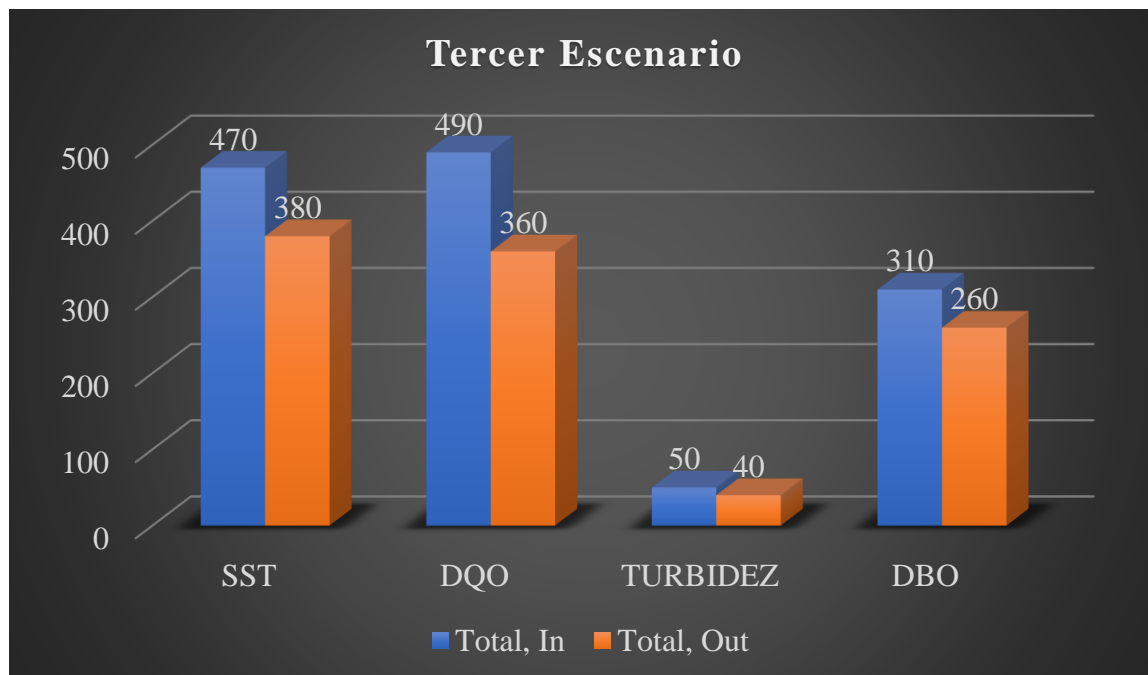
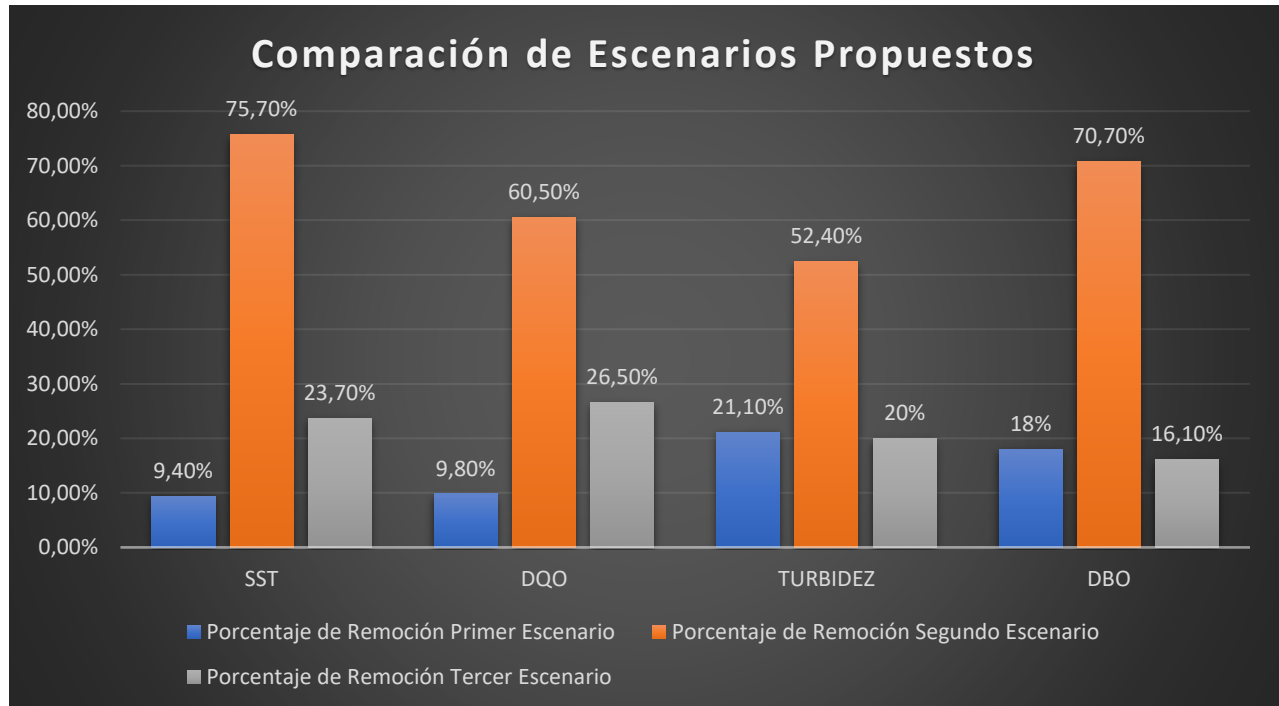


Diagrama 12 Resultados Remoción Tercer Escenario

Diagrama 13 Comparación de escenarios propuestos



13. Anexo 3.



Ilustración 24 Aclaración de dudas comunidad Silvania



Ilustración 25 Presentación de los escenarios generados

14. Anexo 4.

Ilustración 26 Participación Ponente Congreso De Semilleros de Investigación



UDEC
UNIVERSIDAD DE
CUNDINAMARCA

En el marco del Artículo 120 de la Ley 30 de 1992

Certifica que:

ESTEBAN JOSÉ DÍAZ TORRES

Identificado(a) con cédula de ciudadanía N° 1000161546

Participó como **PONENTE** en el:

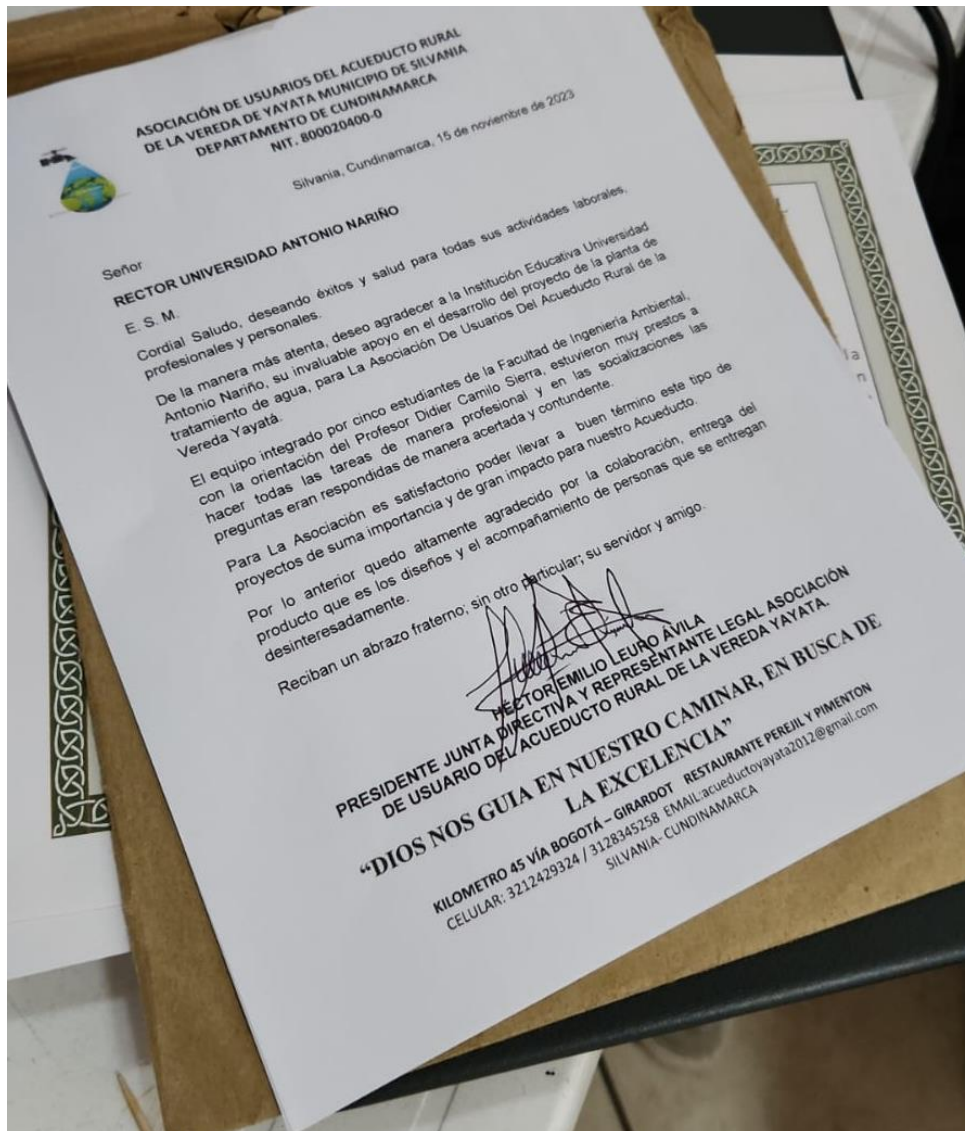
I ENCUENTRO TRANSLOCAL LATINOAMERICANO DE SEMILLEROS DE INVESTIGACIÓN

Con el documento titulado: MODELADO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE SILVANIA- CUNDINAMARCA, evento organizado por la Dirección de Investigación Universitaria Sede Fusagasugá, la Dirección de Interacción Social Universitaria y la Vicerrectoría Académica, con una intensidad de 12 horas, realizado el día 18 de mayo de 2023.

La presente certificación se expide a solicitud del(la) interesado(a) a los veintitrés (23) días del mes de agosto de 2023.

ENA PATRICIA GIL BELLIDO
Directora Interacción Social Universitaria
Universidad de Cundinamarca

Ilustración 27 Agradecimientos de la comunidad



15. Anexo 5.

Ilustración 28 Mapa de Selección del municipio

